

10/511360
PCT/JP03/05450

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

280403
RECEIVED
16 MAY 2003

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 4月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-127682

[ST.10/C]:

[JP2002-127682]

出 願 人

Applicant(s):

本田技研工業株式会社

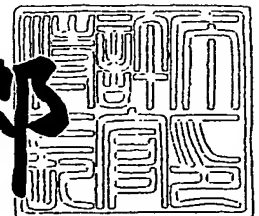
PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2002年10月22日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2002-3081871

【書類名】 特許願
【整理番号】 PSK60511HW
【提出日】 平成14年 4月26日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 B25J 5/00
G05D 1/02

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研
究所内

【氏名】 竹中 透

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研
究所内

【氏名】 松本 隆志

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077805

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐藤 辰彦

【選任した代理人】

【識別番号】 100077665

【弁理士】

【氏名又は名称】 千葉 剛宏

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015174

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9711295

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 軌道誘導装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

脚式移動ロボットにおいて、

- a) 目標経路を設定する目標経路設定手段、
 - b) 前記ロボットの初期接地位置および初期接地向きの少なくともいずれかと前記目標経路を基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定する目標着地位置姿勢決定手段、
- を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの軌道誘導装置。

【請求項 2】

脚式移動ロボットにおいて、

- a) 前記ロボットの接地位置および接地向きの少なくともいずれかを推定する接地位置姿勢推定手段、
 - b) 前記接地位置または前記接地向きの少なくともいずれかを基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定する目標着地位置姿勢決定手段、
- を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの軌道誘導装置。

【請求項 3】

脚式移動ロボットにおいて、

- a) 前記ロボットの接地位置および接地向きの少なくともいずれかを推定する接地位置姿勢推定手段、
- b) 前記接地位置または前記接地向きの少なくともいずれかを基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きを決定する目標着地位置姿勢決定手段、
- c) 少なくとも次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置、および次々回の目標着地向きを基に、今回歩容を決定あるいは修正する今回歩容決定手段、

を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの軌道誘導装置。

【請求項 4】

脚式移動ロボットにおいて、

- a) 前記ロボットの接地位置および接地向きの少なくともいずれかを推定する接地位置姿勢推定手段、
 - b) 目標経路を設定する目標経路設定手段、
 - c) 前記接地位置および前記接地向きの少なくともいずれかと前記目標経路を基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定する目標着地位置姿勢決定手段、
- を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの軌道誘導装置。

【請求項 5】

脚式移動ロボットにおいて、

- a) 前記ロボットの接地位置および接地向きの少なくともいずれかを推定する接地位置姿勢推定手段、
 - b) 目標経路を設定する目標経路設定手段、
 - c) 前記接地位置または前記接地向きの少なくともいずれかと前記目標経路を基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置、および次々回の目標着地向きを決定する目標着地位置姿勢決定手段、
 - d) 少なくとも次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きと前記目標経路を基に、今回歩容を決定あるいは修正する今回歩容決定手段、
- を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの軌道誘導装置。

【請求項 6】

前記目標着地位置姿勢決定手段が、脚先端部を揃えた通常の直立姿勢において、一方の脚先端部から見て、もう一方の脚先端部に近い方に（左足なら右、右足なら左に）前記接地位置を代表する点たる代表点を設定し、前記代表点が長期的に目標経路に漸近（収束）するように、次回の目標着地位置および次々回の目標着地位置の少なくともいずれかを決定することを特徴とする請求項第 1、第 4 および第 5 項いずれかに記載の軌道誘導装置。

【請求項 7】

前記代表点が脚先端部の前後の中央位置よりかかとあるいはつま先付近に寄った位置に設定されることを特徴とする請求項第 6 項に記載の軌道誘導装置。

【請求項 8】

目標着地位置姿勢決定手段が、少なくとも前記接地位置、前記接地向きおよび今回歩容決定手段が直前あるいは 1 歩前に決定した前記今回目標歩容を基に、このまま今回歩容を修正しなかった場合の次回着地位置向きの予想値たる予想次回着地位置、向き、このまま次回歩容も修正しなかった場合の次回着地位置向きの予想値たる予想次回着地位置および向きの少なくともいずれかの予想値を決定し、さらに目標経路に対する前記予想値のずれを決定し、前記ずれに基づき、次の目標着地位置、次の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定することを特徴とする請求項第 1 から第 7 項いずれかに記載の軌道誘導装置。

【請求項 9】

前記目標着地位置姿勢決定手段が、脚同士の間渉などロボット自身の構造によって制限される支持脚先端部に対する遊脚先端部の着地位置と向きの組み合わせの許容領域たる自己依存着地許容範囲に少なくとも基づいて、次の目標着地位置、次の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定することを特徴とする請求項第 1 から第 8 項いずれかに記載の軌道誘導装置。

【請求項 10】

前記自己依存着地許容範囲をマップまたは式によりあらかじめ記憶していることを特徴とする第 9 項記載の軌道誘導装置。

【請求項 11】

前記目標着地位置姿勢決定手段が、今回歩容の目標 ZMP が許容範囲に存在するように、次の目標着地位置、次の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定することを特徴とする請求項第 1 から第 10 項いずれかに記載の軌道誘導装置。

【請求項 12】

前記目標着地位置姿勢決定手段が、少なくとも、移動環境によって制限される支持脚先端部に対する遊脚先端部の着地位置と向きの組み合わせの許容領域たる環境依存着地許容範囲を満足するように、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定することを特徴とする請求項第 1 から第 1 1 項いずれかに記載の軌道誘導装置。

【請求項 1 3】

前記目標着地位置姿勢決定手段が、少なくとも、移動環境によって制限される支持脚先端部に対する遊脚先端部の着地位置と向きの組み合わせの許容領域たる環境依存着地許容範囲を満足するように、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きを決定することを特徴とする請求項第 1 から第 1 1 項いずれかに記載の軌道誘導装置。

【請求項 1 4】

接地位置姿勢推定手段が、少なくとも、環境の対象物に対する相対値を推定することを特徴とする請求項第 1 項記載または第 1 3 項に記載の軌道誘導装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

脚式移動ロボットの軌道誘導手段ならびに装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

一般に脚式移動ロボットでは、移動速度が高くなると、脚を振ることによる反力によって、脚先端部（以降、足平と呼ぶ）と床の間の摩擦力が限界となって、足平と床の間で回転滑りが生じ、ロボット全体が鉛直軸まわりに姿勢回転して、目標歩容の向きからずれたり、目標軌道（経路）からずれるという問題があった。

【0 0 0 3】

補足すると、上体が常に鉛直（直立）を維持して、直線歩行する目標歩容だけが生成されとは限らない。目標歩容においても、ロボット全体または上体は旋

回したり、前後左右に傾いたりする。すなわち、目標歩容においても、全体の姿勢回転（または上体等の代表部位の姿勢回転）が存在する。そこで、本特許においては、目標歩容における姿勢回転を目標姿勢回転と呼ぶ。本特許が問題とする現象は、実際のロボットの全体の姿勢回転（または上体等の代表部位の姿勢回転）が、前記姿勢回転からずれることである。この現象を、厳密に表現するならば、「目標姿勢回転からの摂動」あるいは「姿勢回転摂動」と呼ぶべきであるが、目標姿勢回転と混同する恐れがない場合には、以降、これを「姿勢回転」と省略する。

【0004】

なお、以降、特に、ロボット全体が鉛直軸まわりに姿勢回転して、目標歩容の向きからずれる現象をスピンと呼ぶ。また、上体などのようなある代表的な部位の傾きと向きを総称して「姿勢」と呼ぶ。「傾き」は、鉛直方向となす角度である。「向き」は、代表的な部位の前方向を示すベクトルを水平面に投影したベクトルの向きである。なお、足平着地姿勢は、基本的には着地した足平の向きを表し、具体的には着地した足平のかかとからつま先に向かうベクトルを水平面に投影したベクトルの向きである。

【0005】

上記の問題を解決するためには、ロボットの位置・姿勢を認識し、さらに目標軌道（経路）からずれないように軌道誘導制御を行なう必要がある。

【0006】

軌道誘導制御としては、ロケット、航空機等の飛行体ならびに無人搬送車の軌道誘導制御が知られている。しかし、これらの制御方式を、脚式移動ロボットにそのまま導入することは困難であった。この理由は、以下の3つである。

【0007】

第1に、ロボットは、1歩の間でも、加減速が激しく、自己位置姿勢を精度良く認識することが困難であった。

【0008】

第2に、ロボットは、例えば、単に直進するだけでも、動力的なバランスをとるために、ロボットの代表的部位である上体の位置または姿勢を常に左右に揺

すらなくてはならないため、上体の速度と進行方向（移動方向）が一致しない。
また、ロボットは、上体の向きと関係無く自在な方向に移動できるので上体の向きと進行方向も一致するとは限らない。すなわち、上体速度、向きなど、ロボットの瞬間の運動状態をみただけでは、軌道からずれようとしているのか否かが判定できなかった。

【 0 0 0 9 】

第 3 に、姿勢バランスを維持しなければならないこと、ならびにアクチュエータの能力限界を越えてはならないので、急激に歩容を変更することができなかった。例えば、着地直前に着地位置を急激に変更しようとしても、アクチュエータの速度または力が能力を超えそうになって変更できなかったり、あるいは、変更できたとしても、着地後にバランスを崩す恐れがあった。

【 0 0 1 0 】

以上のごとく、単純に、従来の軌道制御手段をロボットに導入することは困難であった。

【 0 0 1 1 】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、従来技術の上記した不都合を解消し、目標軌道（経路）が与えられた時に、ロボットが前記目標軌道（経路）に追従するための、脚式移動ロボットに適した軌道誘導制御を提供することにある。

【 0 0 1 2 】

また、従来技術の上記した不都合を解消し、飛び石の上や階段など、着地位置が限定された状況においても、ロボットが限定範囲を越えずに移動するための、脚式移動ロボットに適した軌道誘導制御を提供することにある。

【 0 0 1 3 】

また、実際にロボットが移動している途中に軌道誘導しなくとも、移動前において、あるいはオフラインコンピュータによるシミュレーションにおいて、与えられた目標軌道を基に一連の着地位置姿勢の列を生成する、移動計画手段あるいは装置を提供することにある。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の軌道誘導装置は、脚式移動ロボットにおいて、a)目標経路を設定する目標経路設定手段、b)前記ロボットの初期接地位置および初期接地向きの少なくともいずれかと前記目標経路を基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定する目標着地位置姿勢決定手段、を備えたことを特徴とする。

【0015】

また、本発明の軌道誘導装置は、脚式移動ロボットにおいて、a)前記ロボットの接地位置および接地向きの少なくともいずれかを推定する接地位置姿勢推定手段、b)前記接地位置または前記接地向きの少なくともいずれかを基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定する目標着地位置姿勢決定手段、を備えたことを特徴とする。

【0016】

また、本発明の軌道誘導装置は、脚式移動ロボットにおいて、a)前記ロボットの接地位置および接地向きの少なくともいずれかを推定する接地位置姿勢推定手段、b)前記接地位置または前記接地向きの少なくともいずれかを基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きを決定する目標着地位置姿勢決定手段、c)少なくとも次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置、および次々回の目標着地向きを基に、今回歩容を決定あるいは修正する今回歩容決定手段、を備えたことを特徴とする。

【0017】

また、本発明の軌道誘導装置は、脚式移動ロボットにおいて、a)前記ロボットの接地位置および接地向きの少なくともいずれかを推定する接地位置姿勢推定手段、b)目標経路を設定する目標経路設定手段、c)前記接地位置および前記接地向きの少なくともいずれかと前記目標経路を基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともい

ずれかを決定する目標着地位置姿勢決定手段、を備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

また、本発明の軌道誘導装置は、脚式移動ロボットにおいて、a)前記ロボットの接地位置および接地向きの少なくともいずれかを推定する接地位置姿勢推定手段、b)目標経路を設定する目標経路設定手段、c)前記接地位置または前記接地向きの少なくともいずれかと前記目標経路を基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置、および次々回の目標着地向きを決定する目標着地位置姿勢決定手段、d)少なくとも次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きと前記目標経路を基に、今回歩容を決定あるいは修正する今回歩容決定手段、を備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

前記目標着地位置姿勢決定手段は、脚先端部を揃えた通常の直立姿勢において、一方の脚先端部から見て、もう一方の脚先端部に近い方に（左足なら右、右足なら左に）前記接地位置を代表する点たる代表点を設定し、前記代表点が長期的に目標経路に漸近（収束）するように、次回の目標着地位置および次々回の目標着地位置の少なくともいずれかを決定することが好ましい。この場合、前記代表点が脚先端部の前後の中央位置よりかかとあるいはつま先付近に寄った位置に設定されることが好ましい。

【 0 0 2 0 】

また、目標着地位置姿勢決定手段が、少なくとも前記接地位置、前記接地向きおよび今回歩容決定手段が直前あるいは1歩前に決定した前記今回目標歩容を基に、このまま今回歩容を修正しなかった場合の次回着地位置向きの予想値たる予想次回着地位置、向き、このまま次回歩容も修正しなかった場合の次回着地位置向きの予想値たる予想次回着地位置および向きの少なくともいずれかの予想値を決定し、さらに目標経路に対する前記予想値のずれを決定し、前記ずれに基づき、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定することが好ましい。

【 0 0 2 1 】

また、前記目標着地位置姿勢決定手段が、脚同士の干渉などロボット自身の構造によって制限される支持脚先端部に対する遊脚先端部の着地位置と向きの組み合わせの許容領域たる自己依存着地許容範囲に少なくとも基づいて、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定することが好ましい。この場合、前記自己依存着地許容範囲をマップまたは式によりあらかじめ記憶していることが好ましい。

【0022】

また、前記目標着地位置姿勢決定手段が、今回歩容の目標ZMPが許容範囲に存在するように、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定することが好ましい。

【0023】

また、前記目標着地位置姿勢決定手段が、少なくとも、移動環境によって制限される支持脚先端部に対する遊脚先端部の着地位置と向きの組み合わせの許容領域たる環境依存着地許容範囲を満足するように、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定することが好ましい。

【0024】

また、前記目標着地位置姿勢決定手段が、少なくとも、移動環境によって制限される支持脚先端部に対する遊脚先端部の着地位置と向きの組み合わせの許容領域たる環境依存着地許容範囲を満足するように、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きを決定することが好ましい。

【0025】

また、接地位置姿勢推定手段が、少なくとも、環境の対象物に対する相対値を推定することが好ましい。

【0026】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照してこの発明の一つの実施の形態に係る脚式移動ロボッ

トの歩容生成装置を説明する。尚、脚式移動ロボットとしては2足移動ロボットを例にとる。

【0027】

図1は、この実施の形態に係る歩容生成装置が適用される脚式移動ロボット、より具体的には2足移動ロボットを全体的に示す概略図である。

【0028】

図示の如く、2足歩行ロボット（以下「ロボット」という）1は左右それぞれの脚部（脚部リンク）2に6個の関節を備える。6個の関節は上から順に、股（腰部）の脚部回旋（回転）用の関節10R, 10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、股（腰部）のロール方向（X軸まわり）の関節12R, 12L、股（腰部）のピッチ方向（Y軸まわり）の関節14R, 14L、膝部のピッチ方向の関節16R, 16L、足首のピッチ方向の関節18R, 18L、同ロール方向の関節20R, 20Lから構成される。

【0029】

関節18R（L）, 20R（L）の下部には足平（足部）22R, 22Lが取着されると共に、最上位には上体（基体）3が設けられ、その内部にマイクロコンピュータからなる制御ユニット60（後述）などが格納される。上記において、股関節（あるいは腰関節）は関節10R（L）, 12R（L）, 14R（L）から、足関節（足首関節）は関節18R（L）, 20R（L）から構成される。また股関節と膝関節とは大腿リンク24R, 24L、膝関節と足関節とは下腿リンク26R, 26Lで連結される。

【0030】

尚、上体3の上部には腕5が取り付けられると共に、その上部には頭部4が配置されるが、その詳細は、この発明の要旨と直接の関連を有しないため、省略する。

【0031】

上記の構成により、脚部2は左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの $6 \times 2 = 12$ 個の関節を適宜な角度で駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行させることがで

きる（この明細書で「*」はスカラに対する演算としては乗算を、ベクトルに対する演算としては外積を示す）。

【0032】

尚、この明細書で後述する上体3の位置およびその速度は、上体3の所定位置、具体的には上体3の代表点の位置およびその移動速度を意味する。それについては後述する。

【0033】

図1に示す如く、足関節の下方には公知の6軸力センサ50が取着され、力の3方向成分 F_x , F_y , F_z とモーメントの3方向成分 M_x , M_y , M_z とを測定し、足部の着地の有無および床反力（接地荷重）などを検出する。また、上体3には傾斜センサ54が設置され、Z軸（鉛直方向（重力方向））に対する傾きとその角速度を検出する。更に、傾斜センサ54は、3方向の加速度センサ、3方向のレートジャイロセンサを備え、これらのセンサの検出値を基にセンサフュージョンによってロボットの自己位置姿勢を推定する。これについては、後に詳説する。また各関節の電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられる。

【0034】

図2に示すように、足平22R(L)の上方には、ばね機構70が装備されると共に、足底にはゴムなどからなる足底弾性体71が貼られてコンプライアンス機構72を構成する。ばね機構70は具体的には、足平22R(L)に取り付けられた方形状のガイド部材（図示せず）と、足首関節18R(L)および6軸力センサ50側に取り付けられ、前記ガイド部材に弾性材を介して微動自在に収納されるピストン状部材（図示せず）とからなる。

【0035】

図中に実線で表示された足平22R(L)は、床反力を受けていないときの状態を示す。床反力を受けると、コンプライアンス機構72においてバネ機構70と足底弾性体71がたわみ、足平22R(L)は図中に点線で表示された位置姿勢に移る。この構造は、着地衝撃を緩和するためだけでなく、制御性を高めるためにも重要なものである。尚、その詳細は本出願人に先に提案した特開平5-3

0 5 5 8 4 号に記載されているので、詳細な説明は省略する。

【 0 0 3 6 】

さらに、図 1 では図示を省略するが、ロボット 1 の適宜な位置にはジョイスティック 7 3 が設けられ、外部から必要に応じて直進歩行しているロボット 1 を旋回させるなど歩容に対する要求を入力できるように構成される。

【 0 0 3 7 】

図 3 は制御ユニット 6 0 の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ 5 4 などの出力は A / D 変換器 8 0 でデジタル値に変換され、その出力はバス 8 2 を介して R A M 8 4 に送られる。また各電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力はカウンタ 8 6 を介して R A M 8 4 内に入力される。

【 0 0 3 8 】

制御ユニット 6 0 の内部にはそれぞれ C P U からなる第 1、第 2 の演算装置 9 0、9 2 が設けられており、第 1 の演算装置 9 0 は後述の如く、目標歩容を生成すると共に、後述の如く関節角変位指令を算出し、R A M 8 4 に送出する。また第 2 の演算装置 9 2 は R A M 8 4 からその指令と検出された実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な操作量を算出して D / A 変換器 9 6 とサーボアンプを介して各関節を駆動する電動モータに出力する。

【 0 0 3 9 】

各脚部 2 の足平 2 2 R (L) (以下、足平機構 2 2 R (L) と称することがある。) の構成を図 4 及び図 5 を参照してさらに説明する。図 4 は足平機構 2 2 R (L) の側面示の断面図、図 5 は該足平機構 2 2 R (L) の底面側から見た平面図である。

【 0 0 4 0 】

足平機構 2 2 R (L) は、大略平板状の足平プレート部材 1 0 2 を骨格部材として備えている。この足平プレート部材 1 0 2 は、その前端部 (つま先部) と後端部 (踵部) とは若干上方に湾曲されているが、他の部分は平坦な平板状になっている。また、足平プレート部材 1 0 2 の上面部には、横断面方形状の筒部材 1 0 3 がその軸心を上下方向に向けて固設されている。この筒部材 1 0 3 の内部に

は、該筒部材 1 0 3 の内周面に沿うようにして略上下方向に移動可能に設けられた可動板 1 0 4 が設けられ、該可動板 1 0 4 が足首関節 1 8 R (L) に 6 軸力センサ 5 0 を介して連結されている。該 6 軸力センサ 5 0 は足平機構 2 2 R (L) に作用する床反力（詳しくは、前後、左右、及び上下方向の 3 軸方向の並進力、並びに、その 3 軸回りのモーメント）を検出するものであり、その検出出力は制御ユニット 6 0 に入力される。

【 0 0 4 1 】

また、可動板 1 0 4 は、その下面の周縁部がばね、ゴム等の弾性材からなる複数の弾性部材 1 0 6（図ではばねとして記載している）を介して足平プレート部材 1 0 2 の上面部に連結されている。従って、足平プレート部材 1 0 2 は、弾性部材 1 0 6、可動板 1 0 4 及び 6 軸力センサ 5 0 を介して足首関節 1 8 R (L) に連結されている。尚、筒部材 1 0 3 の内部（可動板 1 0 4 の下側の空間）は、図示を省略する穴や隙間を介して大気側に開放されており、大気中の空気が筒部材 1 0 3 の内部に入出自在となっている。

【 0 0 4 2 】

足平プレート部材 1 0 2 の底面（下面）には、接地部材 1 0 7 が取着されている。該接地部材 1 0 7 は、足平機構 2 2 R (L) の着床状態で、該足平プレート部材 1 0 2 と床面との間に介在させる弾性部材（床面に直接的に接触する弾性部材）であり、本実施形態では、足平プレート部材 1 0 2 の接地面の四隅（足平プレート部材 1 0 2 のつま先部の両側部並びに踵部の両側部）に固着されている。また、接地部材 1 0 7 は、本実施形態では、比較的軟質のゴム材から成る軟質層 1 0 7 a と、比較的硬質のゴム材から成る硬質層 1 0 7 b とを上下に重合してなる 2 層構造に形成され、硬質層 1 0 7 b が、脚部 2 の着床時に直接的に床面に接触する接地面部として最下面側に設けられている。

【 0 0 4 3 】

足平機構 2 2 R (L) には、上記の構成の他、着床衝撃緩衝装置 1 0 8 が備えられている。この着床衝撃緩衝装置 1 0 8 は、足平プレート部材 1 0 2 の底面に取着された袋状部材 1 0 9 と、該袋状部材 1 0 9 の内部に対して圧縮性流体としての空気（大気中の空気）を入出させるための流通路 1 1 0 とを備えている。

【 0 0 4 4 】

袋状部材 1 0 9 は、その周囲に前記接地部材 1 0 7 が存するようにして、足平プレート部材 1 0 2 の底面の大略中央部に設けられている。この袋状部材 1 0 9 は、ゴム等の弾性材により変形自在に構成されており、外力による弾性変形が生じていない自然状態では、図 4 に実線で示すように、上方に開口した円筒容器形状を呈する。そして、該袋状部材 1 0 9 は、その開口端部が全周にわたって足平プレート部材 1 0 2 の底面に固着され、該足平プレート部材 1 0 2 により閉蓋されている。また、袋状部材 1 0 9 は、円筒容器形状を呈する自然状態では、該袋状部材 1 0 9 の底部が前記接地部材 1 0 7 よりも下方に突出するように設けられている。つまり、該袋状部材 1 0 9 の高さ（足平プレート部材 1 0 2 の下面から袋状部材 1 0 9 の底部までの距離）は、接地部材 1 0 7 の厚さよりも大きいものとされている。従って、足平プレート部材 1 0 2 が接地部材 1 0 7 を介して接地した状態（脚部 2 の着床状態）では、袋状部材 1 0 9 は、図 4 に仮想線で示すように、床反力により袋状部材 1 0 9 の高さ方向に圧縮される。

【 0 0 4 5 】

尚、本実施形態では、袋状部材 1 0 9 が円筒容器形状を呈する自然状態は該袋状部材 1 0 9 の膨張状態である。そして、袋状部材 1 0 9 は、弾性材により構成されているため、圧縮されたとき、自然状態の形状（円筒容器形状）への形状復元力を有する。

【 0 0 4 6 】

前記流通路 1 1 0 は、本発明における流入・流出手段を構成するものであり、本実施形態では、袋状部材 1 0 9 の内部と前記筒部材 1 0 3 の内部とを連通させるように足平プレート部材 1 0 2 に穿設された流通孔である。この場合、前述のように、筒部材 1 0 3 の内部は大気側に開放されているので、該流通路 1 1 0 は、袋状部材 1 0 9 の内部を大気側に連通させていることとなる。従って、袋状部材 1 0 9 の内部には、大気中の空気が流通路 1 1 0 を介して入出自在となっており、該袋状部材 1 0 9 の膨張状態（自然状態）では、該袋状部材 1 0 9 内には空気が充填され、その内部の圧力は大気圧と同等になる。また、流通路 1 1 0 は絞り通路となっており、袋状部材 1 0 9 の内部に空気が入出する際には流体抵抗を

生じるようになっている。

【0047】

図6は、この実施の形態に係る脚式移動ロボットの制御装置の構成および動作を全体的に示すブロック図である。

【0048】

以下説明すると、この装置は歩容生成部200を備え、歩容生成部200は後述の如く目標歩容を自在かつリアルタイムに生成して出力する。目標歩容は、目標上体位置姿勢（軌道）、目標足平位置姿勢（軌道）、目標全床反力中心点（目標ZMP）（軌道）、目標全床反力（軌道あるいはパターン）および図示していない目標腕姿勢（軌道）などその他の部位の位置姿勢（軌道）から成る。

【0049】

以降、「目標上体」を、誤解を生じるおそれがない場合には、しばしば「上体」と省略する。

【0050】

尚、各足平22R, Lの床反力を「各足平床反力」と呼び、全ての（2本の）足平の床反力の合力を「全床反力」と呼ぶ。ただし、以降においては、各足平床反力に関してはほとんど言及しないので、断らない限り、「床反力」は「全床反力」と同義として扱う。

【0051】

目標床反力は、一般的には、作用点とその点に作用する力と力のモーメントによって表現される。作用点はどこにとっても良いので、同一の目標床反力でも無数の表現が考えられるが、特に前述の目標床反力中心点を作用点にして目標床反力を表現すると、力のモーメントは、鉛直軸成分を除けば、0になる。

【0052】

尚、動力的平衡条件を満足する歩容では、目標とする運動軌道（パターン）から算出されるZMP（目標とする運動軌道から算出される重力と慣性力の合力がその点まわりに作用するモーメントが、鉛直軸成分を除けば、零になる点）と目標全床反力中心点は一致することから、目標床反力中心点軌道の代わりに目標ZMP軌道を与えても同じことである。詳細は、特願2000-352011を参

照のこと。

【 0 0 5 3 】

このような背景から、特願2000-352011の明細書では目標歩容を、次のように定義していた。

- a) 広義の目標歩容とは、1歩ないしは複数歩の期間の目標運動軌道（パターン）とその目標床反力軌道（パターン）の組である。
- b) 狭義の目標歩容とは、1歩の期間の目標運動軌道（パターン）とそのZMP軌道（パターン）の組である。
- c) 一連の歩行は、いくつかの歩容がつながったものとする。

【 0 0 5 4 】

歩行においては、本出願人が先に特開平10-86080号公報で提案した上体高さ決定手法によって上体鉛直位置（上体高さ）が決定されると、床反力の並進力成分は従属的に決定されるので、目標歩容の床反力に関して明示的に設定すべき物理量としては、ZMPだけで十分であった。したがって、特願2000-352011の明細書では、狭義の目標歩容としては、上記のb)で十分であった。それに対し、走行においては、床反力鉛直成分も制御上重要であるので、本発明では、これを明示的に設定するものとし、狭義の目標歩容として、次のb')を用いる。

- b') 狭義の目標歩容とは、1歩の期間の目標運動軌道（パターン）とそのZMP軌道（パターン）と床反力鉛直成分軌道（パターン）の組である。

【 0 0 5 5 】

この明細書では以降、理解を容易にするために、特にことわらない限り、目標歩容は狭義の目標歩容の意味で使用する。より詳しくは、この明細書では目標歩容の一步は、片方の脚が着地してからもう一方の脚が着地するまでの意味で使用する。

【 0 0 5 6 】

両脚支持期と言うまでもなく、ロボット1がその自重を脚部リンク2の双方で支持する期間を、片脚支持期とは脚部リンク2の一方で支持する期間を、空中期とは、脚部リンク2の双方が床から離れている時期を言う。

【 0 0 5 7 】

片脚支持期においてロボット1の自重を支持しない側の脚部（リンク）を「遊脚」と呼ぶ。

【0058】

目標足平位置姿勢軌道は、本出願人が提案した特許3233450号を用いて、生成される。有限時間整定フィルタは、目標到達点に向かって徐々に加速しながら移動を開始し、到達時刻にまでに徐々に速度を0またはほぼ0にまで減速し、指定された到達時刻に目標到達点に到達して停止する。指定された到達時刻が着地時刻に一致するように設定されるので、着地瞬間における対地速度が0またはほぼ0になる。したがって、走行において同時に全脚が空中に存在する状態（空中期での状態）から着地しても、着地衝撃が小さくなる。

【0059】

床反力鉛直成分パターンは、図7aのように設定する。

【0060】

目標ZMP軌道は図7bに示すように設定される。

【0061】

また、目標腕姿勢は、上体に対する相対姿勢で表す。

【0062】

また、目標上体姿勢、目標上体位置、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢および基準上体姿勢は支持脚座標系で記述される。支持脚座標系とは、支持脚の接地面辺りに原点を持つ床面に固定された座標系であり、詳細には、特許3273443号に記載されているように、支持脚足平を接地面との間で滑らさないで、水平になるまで回転させた時の、足首中心から接地面への垂直投影点を原点とし、つま先に向かう水平軸をX座標にとり、鉛直軸をZ座標、これらに直交する座標軸をY座標にとった座標系である。

【0063】

次に、本実施例に用いられるロボット動力学モデルについて説明する。

【0064】

本実施例に用いるロボット動力学モデルとしては、本出願人が提案した特願2000-352011に記載の単純化モデルあるいは、本出願人が提案した特願2001-133621

に記載の多質点モデル（フルモデル）などを用いれば良い。

【 0 0 6 5 】

この実施の形態に係る歩容生成部 1 0 0 は、2 歩先までの遊脚足平着地位置姿勢、着地時刻の要求値（要求）を入力として、目標上体位置姿勢軌道、目標足平位置姿勢軌道、目標 Z M P 軌道、床反力鉛直成分を生成する。また、図示していないが、目標腕姿勢も生成する。また、歩容パラメータの一部は、歩行の継続性を満足するように修正される。

【 0 0 6 6 】

なお、2 歩先までの遊脚足平着地位置姿勢は、図 6 に示す軌道誘導部により決定され、歩容生成部 2 0 0 に入力される。また、図 6 に示すように軌道誘導部には、移動計画部から目標経路（軌道）、または飛び石や階段などの着地許容範囲（後述する環境依存次回着地位置姿勢許容範囲）が送られる。

【 0 0 6 7 】

また、現在あるいはこれから生成しようとしている歩容を「今回歩容」、その次の歩容を「次回歩容」、さらにその次の歩容を「次次回歩容」と呼ぶ。

【 0 0 6 8 】

図 8 は、その歩容生成部 1 0 0 の歩容生成処理、図 6 に示す自己位置姿勢推定部の自己位置姿勢推定処理、並びに図 6 に示す軌道誘導部の軌道誘導処理を示すフロー・チャート（構造化フロー・チャート）である。

【 0 0 6 9 】

以下、図 9 の走行パターンを生成することを例にして、フロー・チャートを説明する。

【 0 0 7 0 】

以下にこのフロー・チャートを説明する。

【 0 0 7 1 】

まず S 0 1 0 において時刻 t を 0 に初期化するなど種々の初期化作業を行う。

【 0 0 7 2 】

次いで S 0 1 2 を経て S 0 1 4 に進み、制御周期毎のタイマ割り込みを待つ。制御周期は Δt である。

【 0 0 7 3 】

次いで S 0 1 6 に進み、自己位置姿勢推定を行う。図 1 0 に、S 0 1 6 の自己位置姿勢推定処理のフローチャートを示す。なお、ここに示す自己位置姿勢推定手段は、本出願人が同時に提案した特願 2 0 0 2 - 1 2 7 0 6 6 の第 3 実施例を用いたが、同特許の他の実施例を用いても良い。

【 0 0 7 4 】

自己位置姿勢推定手段の詳細説明は特願 2 0 0 2 - 1 2 7 0 6 6 に記載されているので、以下では、図 1 0 のフローチャートについて簡単に説明すると、まず、S 2 2 0 0 において、上体に搭載されたジャイロセンサの検出値を積分器により積分して推定上体姿勢を求める。推定上体姿勢はグローバル座標系で記述される。なお、推定上体姿勢のうちの傾き成分に関しては、ジャイロセンサのドリフトによる積分誤差の蓄積を抑制するために、加速度センサによって検出される重力方向を用いてドリフト補正を行うものとする。

【 0 0 7 5 】

次いで S 2 2 0 2 に進み、制御周期の間におけるグローバル座標系から見た推定上体姿勢変化量とグローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢の変化量の差を算出する。なお、グローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢とは、現在の推定支持脚座標系上で、1 歩の間、姿勢傾きやスピンのなくロボットが目標歩容通りに運動したと仮定した場合のグローバル座標系から見た上体姿勢のことである。ただし、推定支持脚座標系とは、実際のロボットの支持脚足平の推定位置姿勢に対応した支持脚座標系であり、より具体的には、実際のロボットの支持脚足平を、その推定位置姿勢から、接地面との間で滑らさないで水平まで回転させた時の、足首中心から接地面への垂直投影点を原点とし、つま先に向かう水平軸を X 座標にとり、鉛直軸を Z 座標、これらに直交する座標軸を Y 座標にとった座標系である。結局、本実施例においては自己位置の推定値として推定支持脚座標系の位置姿勢が推定される。なお、推定支持脚座標系の原点および座標軸の向きは、グローバル座標系によって表されるものとする。

【 0 0 7 6 】

また、S 0 1 0 の初期化処理において、推定支持脚座標系の初期値（初期位置

姿勢) がセットされているものとする。

【 0 0 7 7 】

次いで S 2 2 0 4 に進み、姿勢回転中心を決定する。具体的には、その瞬間の目標 Z M P を姿勢回転中心とする。

【 0 0 7 8 】

次いで S 2 2 0 6 に進み、現在の推定支持脚座標系 (図 1 1 に示す時刻 $k-1$ における推定支持脚座標系) を、前記差だけ、前記姿勢回転中心まわりに回転させた位置・姿勢を改めて現在の推定支持脚座標系 (図 1 1 に示す時刻 k における推定支持脚座標系) と決定する。

【 0 0 7 9 】

次いで S 2 2 0 8 に進み、着地時刻であるか否か、すなわち歩容の切り変わり目であるか否かを判定する。

【 0 0 8 0 】

S 2 2 0 8 において肯定された場合には、以下の処理を行う。すなわち、まず S 2 2 1 0 に進み、現在の推定支持脚座標系に対する次回歩容推定支持脚座標系の相対位置姿勢関係が、目標歩容における支持脚座標系に対する次回支持脚座標系の相対位置姿勢関係と同一関係になるように、次回歩容推定支持脚座標系を決定する。

【 0 0 8 1 】

次いで S 2 2 1 2 に進み、次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢を現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に代入する。

【 0 0 8 2 】

S 2 2 1 2 の後、あるいは S 2 2 0 8 において否定された場合には、S 2 2 1 4 に進み、現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に対応して推定上体位置を決定する。ただし、推定支持脚座標系に対する推定上体位置の関係は、目標歩容の支持脚座標系に対する上体位置の関係に一致させる。

【 0 0 8 3 】

以上をもって S 0 1 6 の自己位置推定処理を終了し、S 0 1 8 に進む。

【 0 0 8 4 】

次いで S018 に進み、歩容切り変わり目であるか否かを判断し、肯定されるときは S020 に進むと共に、否定されるときは S030 に進む。

【0085】

S020 に進むときは時刻 t を 0 に初期化する。

【0086】

次いで S022 に進み、軌道誘導処理を行い、次回歩容支持脚座標系、次次回歩容支持脚座標系、今回歩容周期および次回歩容周期を決定する。S022 における処理がこの出願に係る脚式移動ロボットの軌道誘導装置の中核であり特徴をなす部分であるが、この説明は後述することとする。

【0087】

次いで S024 に進み、今回歩容につながる定常旋回歩容の歩容パラメータを決定する。主に、足平軌道パラメータ、基準上体姿勢パラメータ、腕軌道パラメータ、目標 ZMP 軌道パラメータ、床反力鉛直成分パラメータが決定される。

【0088】

尚、この明細書で「定常旋回歩容」は、その歩容を繰り返したときに歩容の境界において運動状態に不連続が生じないような周期的歩容を意味するものとして使用する。（以降、「定常旋回歩容」を「定常歩容」と略す場合もある。）

定常旋回歩容は、第 1 旋回歩容と第 2 旋回歩容とからなる。尚、ここで「旋回」なる用語を用いたのは、旋回率を零とするときは直進を意味するので、直進も広義の意味で旋回に含ませることができるからである。

【0089】

以下では、説明の便宜上、複数の狭義の歩容から成る定常旋回歩容を 1 歩の歩容とみなす。

【0090】

定常旋回歩容は、歩容生成部 100 で今回歩容の終端における発散成分や上体鉛直位置速度を決定するために暫定的に作成されるものであり、歩容生成部 100 からそのまま出力されるものではない。

【0091】

尚、「発散」とは、上体の位置が両足部（足平）の位置からかけ離れた位置に

ずれてしまうことを意味する。発散成分の値とは、2足移動ロボットの上体の位置が両足部（足平）の位置（厳密には、支持脚接地面に設定された支持脚座標系の原点からかけ離れていく具合を表す数値である。

【 0 0 9 2 】

本実施例では、これから生成する今回歩容の後につながる定常歩容を移動要求（前記2歩先までの遊脚足平着地位置姿勢、着地時刻などの要求値）に応じて設定し、定常歩容の初期発散成分を求めてから、今回歩容の終端発散成分を定常歩容の初期発散成分に一致するように、今回歩容を生成するようにした。詳細は、本出願人が提案した特願2000-352011号に説明しているのでここではこれ以上の説明を省略する。

【 0 0 9 3 】

S 0 2 4の詳細は、特願2000-352011号に説明しているので、ここでは、これ以上の説明を省略する。

【 0 0 9 4 】

S 0 1 0からS 0 2 4までに示す処理を行って後、S 0 2 6に進み、定常旋回歩容の初期状態（初期上体水平位置速度成分、初期上体鉛直位置速度、初期発散成分、初期上体姿勢角および角速度）を決定する。

【 0 0 9 5 】

次いで、S 0 2 8に進み、今回歩容の歩容パラメータを決定（一部仮決定）する。S 0 2 8の詳細は、特願2000-352011号に説明しているので、ここでは、これ以上の説明を省略する。

【 0 0 9 6 】

次いでS 0 3 0に進み、今回歩容の終端発散成分が定常歩容の初期発散成分に一致するように、今回歩容の歩容パラメータを修正する。

【 0 0 9 7 】

次いでS 0 3 2に進み、目標ZMPが所定の許容範囲に存在しているか否かを判断する。

【 0 0 9 8 】

なお、前記許容範囲は、目標ZMPの存在可能範囲（接地面を含む最小凸多角

形、いわゆる支持多角形)内に設定される。

【0099】

修正された今回歩容の歩容パラメータがその他の歩容の制約条件に対しても満足しているか否かを判断しても良い。なお、歩容の制約条件に関しては、本出願人が先に提案した特願2000-352011号に詳細が述べられている。

【0100】

S032において否定される場合には、S034に進み、後述する軌道誘導補正サブルーチンを実行することにより、前記軌道誘導サブルーチンで決定した次回歩容支持脚座標系、次次回歩容支持脚座標系、今回歩容周期および次回歩容周期の少なくともいずれかを修正する。S034における処理もS022同様、この出願に係る脚式移動ロボットの軌道誘導装置の中核であり特徴をなす部分であるが、この説明は後述することとする。

【0101】

次いでS036を経て、S022に戻る。

【0102】

S032において肯定される場合、あるいはS018で否定される場合には、S038に進み、今回歩容瞬時値を決定する。この処理の詳細は、本出願人が先に提案した特願2000-352011号あるいは、本出願人が先に提案した走行歩容なども生成できるより一般的な歩容も特願2000-352011号において説明しているので、ここではこれ以上の説明を省略する。

【0103】

次いでS040に進み、スピン力をキャンセルする腕動作を決定する。

【0104】

次いでS042に進み、歩容生成用時刻 t を Δt だけ増やし、S014に戻り、以上のごとく歩容生成を続ける。

【0105】

以上が、歩容生成部200の歩容生成処理、図6に示す自己位置姿勢推定部の自己位置姿勢推定処理、並びに軌道誘導部の軌道誘導処理の概要である。

【0106】

図 6 を参照してこの実施の形態に係る歩容生成装置の動作をさらに説明すると、歩容生成部 2 0 0 において、上記したように目標歩容が生成される。生成された目標歩容の中、目標上体位置姿勢（軌道）は、ロボット幾何学モデル（逆キネマティクス演算部） 2 0 2 に直接送られる。図示していないが、目標腕姿勢などもロボット幾何学モデル（逆キネマティクス演算部） 2 0 2 に送られる。

【 0 1 0 7 】

また、その他の目標足平（足部）位置姿勢（軌道）、目標全床反力中心点（即ち、目標 ZMP）軌道、および目標全床反力（軌道）（目標床反力水平成分と目標床反力鉛直成分）は、複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 に直接送られる一方、目標床反力分配器 2 0 6 にも送られ、そこで床反力は各足平（足部 2 2 R, L）に分配され、目標各足平床反力中心点および目標各足平床反力が決定されて複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 に送られる。

【 0 1 0 8 】

複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 から、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）がロボット幾何学モデル 2 0 2 に送られる。ロボット幾何学モデル 2 0 2 は、目標上体位置姿勢（軌道）と機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）を入力されると、それらを満足する 1 2 個の関節（1 0 R（L）など）の関節変位指令（値）を算出して変位コントローラ 2 0 8 に送る。変位コントローラ 2 0 8 は、ロボット幾何学モデル 2 0 2 で算出された関節変位指令（値）を目標値としてロボット 1 の 1 2 個の関節の変位を追従制御する。

【 0 1 0 9 】

ロボット 1 に生じた床反力は実各足床反力平検出器（6 軸力センサ 5 0）によって検出される。検出値は前記した複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 に送られる。また、前記のごとく決定された推定上体姿勢と目標上体姿勢の差のうちの傾き成分、すなわち姿勢傾斜偏差 θ_{errx} , θ_{erry} が姿勢安定化制御演算部 2 1 2 に送られ、そこで姿勢傾斜を復元する目標全床反力中心点（目標 ZMP）まわり補償全床反力モーメントが算出されて複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 に送られる。複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 は、入力値に基づいて目標値を修正する。複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 は、修正された目標値に

、センサ検出値などから算出される実ロボットの状態および床反力を一致させようと上記機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）を決定する。ただしすべての状態を目標に一致させることは事実上不可能であるので、これらの間にトレードオフ関係を与えて妥協的になるべく一致させる。すなわち、各目標に対する制御偏差に重みを与えて、制御偏差（あるいは制御偏差の2乗）の重み付き平均が最小になるように制御する。

【0110】

補足すると、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）は、複合コンプライアンス動作決定部204によって修正された床反力の目標値を発生させるために必要な足平の変形機構（円柱状ゴム、足底スポンジおよび衝撃吸収用の袋状のエアダンパー）の変形量を変形機構の力学モデル（ばねダンパーモデル等）を用いて求めて、その変形量が発生するように修正した、目標足平位置姿勢（軌道）である。

【0111】

以下に第1実施例におけるS022の軌道誘導処理を詳説する。

【0112】

図12に、そのフローチャートを示す。

【0113】

まず、S3000において、推定支持脚座標系の代表点 $P(0)$ と目標経路（軌道）を基に、今回短期目標点 $Q(0)$ を決定する。

【0114】

目標経路（軌道）は、あらかじめ設定して置いても良いが、地図情報とロボットの推定自己位置（グローバル座標系における推定支持脚座標系の位置姿勢）を基に、障害物等を回避しつつ目標点に到達する経路を生成しても良い。通常、ロボットに備えられた、軌道誘導処理よりも上位の図6に示す前記移動計画部が目標軌道を生成するが、S3000において生成しても良い。

【0115】

なお、支持脚座標系の代表点 $P(0)$ とは、支持脚座標系上のある所定の点である。この点は、図13および図14に示すように、前記支持脚足平と支持脚座標系

の関係を満たすように、推定支持脚座標系に対応させた現在支持脚足平の中央よりも、足を揃えた通常の直立姿勢において反対側の足の方に、(左足なら右、右足なら左に) 少し離れた座標に設定される。

【0116】

また、かかとの近くに設定される。かかとに接地することにより、左右の足平の代表点がある床に固定された点に一致させたまま、両足平のつま先を開いたり閉じたりしてその場旋回させても、足平同士が干渉しないからである。

【0117】

つま先近くに設定しても良い。この場合、左右の足平の代表点がある床に固定された点に一致させたまま、両足平のかかとを開いたり閉じたりしてその場旋回させても、足平同士が干渉しないからである。

【0118】

それに対し、つま先とかかとの真中に設定すると、一方の足平に対してもう一方の足平の向きを少し異なる向きにただけで、かかとまたはつま先が互いに干渉するようになる。

【0119】

特に、図13および図14に示すように、足を揃えた通常の直立姿勢において、両脚の左右中央で、かつ、かかと寄りの点で、かつ左右の足平の代表点を一致させるように設定するとなお一層良い。図13は、右脚が支持脚であった場合の支持脚座標系の代表点を示す。図14は、左脚が支持脚であった場合の支持脚座標系の代表点を示す。

【0120】

なお、接地時の足平との相対関係によって決定される点であるので、以降、足平代表点とも呼ぶ。

【0121】

今回短期目標点 $Q(0)$ は、より具体的には、線分 $P(0)Q(0)$ がある所定の長さ L_q になるように、目標経路上に設定する。言い換えると、 $P(0)$ を中心とする半径が前記所定の長さ L_q の円の円周と目標経路の交点に $Q(0)$ を設定する。ただし、 $P(0)$ と目的地の距離が前記所定の長さ L_q 以下の場合には、目的地に $Q(0)$ を設定する。

【 0 1 2 2 】

なお、前記所定の長さ L_q を短くすると、足平着地位置が目標軌道に漸近する速度が高くなる代わりに、足平着地方向の変化率（またはロボット上体のヨーレート）が大きくなる。

【 0 1 2 3 】

次いで S 3 0 0 2 に進み、線分 $P(0)Q(0)$ 上に次回歩容支持脚座標系の代表候補点 $R(0)$ を決定する。具体的には、線分 $P(0)R(0)$ がある所定の長さ L_{r0} になるように、線分 $P(0)Q(0)$ 上に $R(0)$ を設定する。ただし、 $P(0)$ と目的地の距離が前記所定の長さ L_{r0} 以下の場合には、目的地に $R(0)$ を設定する。

【 0 1 2 4 】

次いで S 3 0 0 4 に進み、図 1 5 に示すように、着地許容領域の点で、かつ代表候補点 $R(0)$ に最も近い点を $P(1)$ と決定する。

【 0 1 2 5 】

着地許容領域は、現在の状態から遊脚を振って遊脚足平を着地させた場合に、脚同士の干渉が生じる、脚の動作範囲を越える、脚関節アクチュエータに無理な速度や力が発生する、などの支障がない、遊脚足平着地時の遊脚足平代表点位置と足平向きの許容範囲である。

【 0 1 2 6 】

したがって、着地許容範囲は、遊脚着地状態で遊脚と支持脚が干渉しない範囲に含まれる。

【 0 1 2 7 】

着地許容範囲は、歩行中にリアルタイムに求めても良いが、コンピュータの演算負荷を低減するために、あらかじめマップ化して置いた方が良い。

【 0 1 2 8 】

着地向きが 0 度の場合では、例えば、支持脚に対して、図 1 7 に示す太曲線の中が着地許容範囲となる。着地向きが - 3 0 度の場合には、図 1 8 に示す太曲線の中が着地許容範囲となる。

【 0 1 2 9 】

図 1 7 および図 1 8 では、遊脚着地状態で遊脚と支持脚が干渉しない範囲に一

致している例を挙げたが、遊脚の現在位置姿勢によっては、遊脚の現在位置姿勢から着地位置姿勢まで移動する間に、遊脚が支持脚に干渉する場合もあるので、遊脚の現在位置姿勢に依存して、遊脚着地状態で遊脚と支持脚が干渉しない範囲よりも狭くなる場合もある。

【 0 1 3 0 】

また、遊脚着地までの時間の余裕が少ない時にも、遊脚足平の着地許容範囲は狭く限定される場合がある。この場合、着地位置姿勢を変更する前の着地位置姿勢（前回軌道誘導処理において、決定あるいは修正した次回歩容支持脚座標系）に依存する。

【 0 1 3 1 】

S 3 0 0 4 においては、具体的には、代表候補点 $R(0)$ が着地許容領域内にある場合には、代表候補点 $R(0)$ を代表点 $P(1)$ と決定し、図 1 5 に示すように、代表候補点 $R(0)$ が着地許容領域内にない場合には、着地許容領域の境界（太線）上の点で、かつ最で、かつ代表候補点 $R(0)$ に最も近い点を $P(1)$ と決定する。

【 0 1 3 2 】

次いで S 3 0 0 6 に進み、次回歩容支持脚座標系の代表点 $P(1)$ の位置と線分 $P(0)Q(0)$ の向きを基に、次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。より具体的には、次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が $P(1)$ で次回歩容支持脚座標系の X 軸向きが線分 $P(0)Q(0)$ の向きとなるように、次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。

【 0 1 3 3 】

次いで S 3 0 0 8 に進み、次回歩容支持脚座標系の代表点 $P(1)$ と目標経路を基に、次回短期目標点 $Q(1)$ を決定する。より具体的には、次回短期目標点 $Q(1)$ は、線分 $P(1)Q(1)$ が、ある所定の長さ L_{q1} になるように、目標経路上に設定する。ただし、 $P(1)$ と目的地の距離が前記所定の長さ L_{q1} 以下の場合には、目的地に $Q(1)$ を設定する。 L_{q1} は L_q と同一にしても良い。

【 0 1 3 4 】

次いで S 3 0 1 0 に進み、線分 $P(1)Q(1)$ 上に次次回歩容支持脚座標系の代表候補点 $R(1)$ を決定する。具体的には、線分 $P(1)R(1)$ がある所定の長さ L_{r1} になるよ

うに、線分 $P(1)Q(1)$ 上に $R(1)$ を設定する。ただし、 $P(1)$ と目的地の距離が前記所定の長さ $Lr1$ 以下の場合には、目的地に $R(1)$ を設定する。 $Lr1$ は $Lr0$ と同一にしても良い。

【 0 1 3 5 】

次いで $S3012$ に進み、図16に示すように、着地許容領域の点で、かつ代表候補点 $R(1)$ に最も近い点を $P(2)$ と決定する。具体的には、代表候補点 $R(1)$ が着地許容領域内にない場合には、着地許容領域の境界（太線）上の点で、かつ最で、かつ代表候補点 $R(1)$ に最も近い点を $P(2)$ と決定し、図16に示すように、代表候補点 $R(1)$ が着地許容領域内にある場合には、代表候補点 $R(1)$ を代表点 $P(2)$ と決定する。

【 0 1 3 6 】

次いで $S3014$ に進み、 $S3004$ と同様、次次回歩容支持脚座標系の代表点 $P(2)$ の位置と線分 $P(1)Q(1)$ の向きを基に、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。より具体的には、次次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が $P(2)$ で次次回歩容支持脚座標系の X 軸向きが線分 $P(1)Q(1)$ の向きとなるように、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。

【 0 1 3 7 】

以上が第1実施例における $S022$ の軌道誘導処理である。

【 0 1 3 8 】

前述のごとく、次いで $S024$ から $S032$ まで実行し、 $S032$ において目標 ZMP が許容範囲に存在していないと判断されると、 $S034$ に進み、軌道誘導補正サブルーチンを実行する。

【 0 1 3 9 】

以下に $S034$ の軌道誘導補正サブルーチンの動作を説明する。

【 0 1 4 0 】

まず、 $S3100$ において、目標 ZMP が許容範囲を越えた分を求める。以降、これを e とする。 E は、 X 成分と Y 成分からなるベクトルである。なお、許容範囲を越えていない成分は0にする。

【 0 1 4 1 】

次いで S 3 1 0 2 に進み、次式を用いて、前記軌道誘導サブルーチンで求めた $R(0)$ (右辺の $R(0)$) を基に、新たな $R(0)$ (左辺の $R(0)$) を求める。ただし、 Ka は所定の係数である。

$$R(0) = Ka * e + R(0)$$

…式 1

このようにする理由を述べると、軌道誘導補正サブルーチンにおいて今回歩容の着地位置を修正すると、その後 S 0 3 0 において今回歩容の終端発散成分が定常旋回歩行の初期発散成分に一致するように、目標 ZMP パラメータを修正した時に、今回歩容の着地位置の修正量と目標 ZMP パラメータの修正量が比例するからである。故に、式 1 により、 $R(0)$ を変更することにより、目標 ZMP が許容範囲を越えないようになるか、あるいは少なくとも目標 ZMP が許容範囲を越えた分が減少する。

【 0 1 4 2 】

次いで S 3 1 0 4 から S 3 1 1 4 までを、S 3 0 0 4 から S 3 0 1 4 までと同様に実行する。なお、 $R(1)$ も、 $R(0)$ と同様、ZMP 超過分に応じて変更しても良い。

【 0 1 4 3 】

上記のごとく、軌道誘導補正サブルーチンにおいては、目標 ZMP が許容範囲を越えていたら、目標 ZMP が許容範囲を越えないように、あるいは少なくとも目標 ZMP が許容範囲を越えた分が減少するように、今回歩容の着地位置を修正する。

【 0 1 4 4 】

軌道誘導補正サブルーチンが完了した後、S 0 3 6 を経て、S 0 2 6 に戻り、上記の処理を再び実行する。以降、S 0 3 2 において目標 ZMP が許容範囲に存在すると判断されると、S 0 3 8 に進む。したがって、S 0 3 8 に進んだ時には、着地許容領域の制約と目標 ZMP 許容範囲のいずれも満足した、次回歩容支持脚座標系 (次回着地位置姿勢)、次次回歩容支持脚座標系 (次次回着地位置姿勢)

) が決定されている。

【 0 1 4 5 】

なお、軌道誘導補正サブルーチンでは、その他の歩容パラメータを修正しても良い。

(第 2 実施例)

図 1 9 は、第 2 実施例における S 0 2 2 の軌道誘導処理である。第 2 実施例においては、S 0 2 2 の軌道誘導処理と S 0 3 4 の軌道誘導補正処理を除く残りの形態は第 1 実施例と同じである。

【 0 1 4 6 】

以下に第 2 実施例における S 0 2 2 の軌道誘導処理を詳説すると、まず、S 3 2 0 0 において、推定支持脚座標系の代表点 P(0) と目標経路を基に、図 2 0 に示すように、目標経路に漸近する曲線を決定する。具体的には、軌道誘導制御される無人搬送車や自動運転車が目標経路に漸近する場合の軌跡になるように決定する。

【 0 1 4 7 】

より具体的には、前記曲線上の任意の点 A から目標経路に降ろした垂線と目標経路との交点を点 B とした時、前記曲線の点 A における曲率を式 2 により決定する。

曲線の点 A における曲率

= $Ka * (\text{線分 } AB \text{ の長さ})$

+ $Kb * (\text{点 A における曲線の接線向き} - \text{点 B における目標経路の接線向き})$

…式 2

次いで S 3 2 0 2 に進み、前記曲線上に次回歩容支持脚座標系の代表候補点 R(0) を決定する。具体的には、線分 P(0)R(0) がある所定の長さ $Lr0$ になるように、前記曲線上に R(0) を設定する。ただし、P(0) と目的地の距離が前記所定の長さ $Lr0$ 以下の場合には、目的地に R(0) を設定する。

【 0 1 4 8 】

次いで S 3 2 0 4 に進み、S 3 0 0 4 と同様、着地許容領域の点で、かつ代表候補点 R(0) に最も近い点を P(1) と決定する。

【 0 1 4 9 】

次いで S 3 2 0 6 に進み、図 2 1 に示すように、次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が P(1) で次回歩容支持脚座標系の X 軸向きが代表点 P(1) における前記曲線の接線向きとなるように、次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。

【 0 1 5 0 】

次いで S 3 2 0 8 に進み、前記曲線上に次次回歩容支持脚座標系の代表候補点 R(1) を決定する。具体的には、線分 P(1)Q(1) が、ある所定の長さ L_{q1} になるように、前記曲線上に R(1) を設定する。ただし、P(1) と目的地の距離が前記所定の長さ L_{q1} 以下の場合には、目的地に R(1) を設定する。 L_{q1} は L_q と同一にしても良い。

【 0 1 5 1 】

次いで S 3 2 1 0 に進み、S 3 0 1 2 と同様、着地許容領域の点で、かつ代表候補点 R(1) に最も近い点を P(2) と決定する。

【 0 1 5 2 】

次いで S 3 2 1 2 に進み、次次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が P(2) で次次回歩容支持脚座標系の X 軸向きが代表点 P(2) における前記曲線の接線向きとなるように、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。

【 0 1 5 3 】

以上が第 2 実施例における S 0 2 2 の軌道誘導処理である。

【 0 1 5 4 】

次いで、第 2 実施例における S 0 3 4 の軌道誘導補正サブルーチンの動作を、その動作のフローチャートである図 2 2 を用いて説明する。

【 0 1 5 5 】

まず、S 3 3 0 0 において、S 3 1 0 0 と同様、目標 ZMP が許容範囲を越えた分 e を求める。

【 0 1 5 6 】

次いで S 3 3 0 2 に進み、S 3 1 0 2 と同様、式 1 によって、R(0) を求める。

【 0 1 5 7 】

次いで S 3 3 0 4 から S 3 3 1 4 まで、S 3 2 0 6 から S 3 2 1 6 までの処理と同様の処理を実行する。

(第 3 実施例)

図 2 3 は、第 3 実施例における S 0 2 2 の軌道誘導処理である。第 3 実施例においては、S 0 2 2 の軌道誘導処理と S 0 3 4 の軌道誘導補正処理を除く残りの形態は第 1 実施例と同じである。

【 0 1 5 8 】

以下に第 3 実施例における S 0 2 2 の軌道誘導処理を詳説すると、まず、S 3 4 0 0 において、図 2 4 に示すように、S 3 0 0 0 と同様に、推定支持脚座標系の代表点 P(0) と目標経路を基に、今回短期目標点 Q(0) を決定する。

【 0 1 5 9 】

次いで S 3 4 0 2 に進み、着地許容領域を越えないように、線分 P(0)Q(0) 上に次回歩容支持脚座標系の代表点 P(1) を決定する。具体的には、図 2 4 に示すように、着地許容領域の境界線と線分 P(0)Q(0) の交点に P(1) を設定する。

【 0 1 6 0 】

次いで S 3 4 0 4 に進み、図 2 4 に示すように、S 3 0 0 6 と同様に、次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が P(1) で次回歩容支持脚座標系の X 軸向きが線分 P(0)Q(0) の向きとなるように、次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。

【 0 1 6 1 】

次いで S 3 4 0 6 に進み、図 2 4 に示すように、S 3 0 0 8 と同様に、次回歩容支持脚座標系の代表点 P(1) と目標経路を基に、次回短期目標点 Q(1) を設定する。

【 0 1 6 2 】

次いで S 3 4 0 8 に進み、着地許容領域を越えないように、線分 P(1)Q(1) 上に次次回歩容支持脚座標系の代表点 P(2) を決定する。具体的には、図 2 4 に示すように、着地許容領域の境界線と線分 P(1)Q(1) の交点に P(2) を設定する。

【 0 1 6 3 】

次いで S 3 4 1 0 に進み、図 2 4 に示すように、S 3 0 1 4 と同様に、次次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が P(2) で次次回歩容支持脚座標系の X 軸向きが線

分P(1)Q(1)の向きとなるように、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。

【0164】

以上が第3実施例におけるS022の軌道誘導処理である。

【0165】

次いで、第3実施例におけるS034の軌道誘導補正サブルーチンの動作を、この処理のフローチャートである図25を用いて説明する。

【0166】

まず、S3500において、S3100と同様、目標ZMPが許容範囲を越えた分eを求める。

【0167】

次いでS3502に進み、前記軌道誘導サブルーチンで求めたP(0)を基に、次式を用いて、新たなP(0)を求める。

$$P(0) = Ka * e + P(0)$$

…式3

次いでS3504からS3510までを、S3404からS3410までと同様に実行する。

【0168】

上記のごとく、第3実施例の軌道誘導補正サブルーチンにおいては、目標ZMPが許容範囲を越えていたら、越えないように、今回歩容の着地位置を修正する。

(第4実施例)

図26は、第4実施例におけるS022の軌道誘導処理である。第4実施例においては、S022の軌道誘導処理とS034の軌道誘導補正処理を除く残りの形態は第1実施例と同じである。

【0169】

以下に第4実施例におけるS022の軌道誘導処理を詳説すると、まず、S3

6 0 0において、歩容の切り替わり目であるいか否かを判断する。S 3 6 0 0において肯定される場合には、S 3 6 0 2に進み、前回制御周期に決定した第1旋回歩容を今回歩容に、前回制御周期に決定した第2旋回歩容を次回歩容とする。

【0 1 7 0】

前述したように旋回歩容は、第1旋回歩容と第2旋回歩容から成る。今回制御周期における第1旋回歩容は、前回制御周期に決定した第2旋回歩容となる。

【0 1 7 1】

また、補足すると、本出願人が先に提案した特願2000-352011号に述べているように、今回制御周期においては、第2旋回歩容支持脚座標系（次次回歩容支持脚座標系）から見た目標遊脚着地位置姿勢（次次次回歩容支持脚座標系位置姿勢）は、今回支持脚座標系から見た今回目標歩容の遊脚着地位置姿勢（次回歩容支持脚座標系位置姿勢）に一致させる。前記各座標系の関係を図27に示す。

【0 1 7 2】

S 3 6 0 0において否定される場合またはS 3 6 0 2の処理を完了した場合には、S 3 6 0 4に進み、推定支持脚座標系と今回目標歩容と次回目標歩容を基に、予想次回着地位置姿勢と予想次次回着地位置姿勢を算出する。

【0 1 7 3】

より具体的には、今回歩容の支持脚座標系が、現在推定支持脚座標系に一致していると想定して、図27に示す前記各座標系の関係を満足するように、予想次回着地位置姿勢（予想次回歩容支持脚座標系）（今回歩容の予想着地位置）と予想次次回着地位置姿勢（予想次次回歩容支持脚座標系）（次回歩容の予想着地位置）を算出する。図28にこれらの関係を示す。

【0 1 7 4】

次いでS 3 6 0 6に進み、図28に示す、予想次回着地位置姿勢の目標経路からの位置ずれと方向ずれである、予想次回着地位置ずれと予想次回着地方向ずれを算出する。

【0 1 7 5】

次いでS 3 6 0 8に進み、図28に示す、予想次次回着地位置姿勢の経路からの位置ずれと方向ずれである、予想次次回着地位置ずれと予想次次回着地方向ず

れを算出する。

【0 1 7 6】

次いで S 3 6 1 0 に進み、上記ずれに基づき、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを修正する。

【0 1 7 7】

例えば、式 3、式 4、式 5 および式 6 により各修正量を決定し、修正前の値に修正量を加えることにより、修正するようにすれば良い。

次回歩容支持脚座標系の位置の修正量

$$= K11 * \text{予想次回着地位置ずれ} + K12 * \text{予想次回着地方向ずれ} \\ + K13 * \text{予想次次回着地位置ずれ} + K14 * \text{予想次次回着地方向ずれ} \\ \dots \text{式 4}$$

次回歩容支持脚座標系の向きの修正量

$$= K21 * \text{予想次回着地位置ずれ} + K22 * \text{予想次回着地方向ずれ} \\ + K23 * \text{予想次次回着地位置ずれ} + K24 * \text{予想次次回着地方向ずれ} \\ \dots \text{式 5}$$

次次回歩容支持脚座標系の位置の修正量

$$= K31 * \text{予想次回着地位置ずれ} + K32 * \text{予想次回着地方向ずれ} \\ + K33 * \text{予想次次回着地位置ずれ} + K34 * \text{予想次次回着地方向ずれ} \\ \dots \text{式 6}$$

次次回歩容支持脚座標系の向きの修正量

$$= K41 * \text{予想次回着地位置ずれ} + K42 * \text{予想次回着地方向ずれ} \\ + K43 * \text{予想次次回着地位置ずれ} + K44 * \text{予想次次回着地方向ずれ} \\ \dots \text{式 7}$$

S 3 6 1 0 においては、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、次次回歩容支持

脚座標系の位置と向きの少なくともいずれかを修正するだけでも良い。

【0178】

以上が第4実施例におけるS022の軌道誘導処理である。

【0179】

次いで、第4実施例におけるS034の軌道誘導補正サブルーチンの動作を、この処理のフローチャートである図29を用いて説明する。

【0180】

まず、S3700において、S3100と同様、目標ZMPが許容範囲を越えた分 e を求める。

【0181】

次いでS3702に進み、ある所定の係数 Ka に e を乗じた量だけ、次回歩容支持脚座標系の位置、次次回歩容支持脚座標系の位置を修正する。

(第5実施例)

図30は、第5実施例におけるS022の軌道誘導処理である。第5実施例は、飛び石の上を歩くなど、着地位置の許容範囲が限定されている場合の軌道誘導手段（または装置）である。

【0182】

第4実施例までは、位置ずれとしては、基本的には、経路法線方向のみを考慮すれば良かったが、飛び石に上を歩行する場合などのように、着地位置が指定される場合には、位置ずれとしては、前後左右両方向のずれを考慮する必要がある。

【0183】

第5実施例においては、S022の軌道誘導処理とS034の軌道誘導補正処理を除く残りの形態は第1実施例と同じである。

【0184】

以下に第5実施例におけるS022の軌道誘導処理を詳説すると、まず、S3800において、環境依存次回着地位置姿勢許容範囲と環境依存次次回着地位置姿勢許容範囲を決定する。

【0185】

環境依存次回着地位置姿勢許容範囲は、図31に示すように、環境依存次回着地時代表点位置許容範囲（図31太線枠内）と環境依存次回着地方向許容範囲から成る。あるいは、環境依存次回着地時基準点位置許容範囲と環境依存次回着地方向許容範囲が独立に設定できない状況の場合には、環境依存次回着地位置姿勢許容範囲は、環境依存次回着地時基準点位置と環境依存次回着地方向の組み合わせの許容範囲とする。環境依存次回着地位置姿勢許容範囲は、マップ化して記憶させて置いても良いし、飛び石などの環境情報からその都度決定しても良い。環境依存次回目標着地位置姿勢も同様である。

【0186】

次いで、S3802に進み、環境依存次回着地位置姿勢許容範囲と環境依存次回着地位置姿勢許容範囲および自己依存着地位置姿勢許容範囲をいずれも満足するように、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。

【0187】

自己依存着地位置姿勢許容範囲は、ロボット自身の制約条件であり、前述した図17、図18などに示す着地許容領域のことである。

【0188】

以上が第5実施例におけるS022の軌道誘導処理である。

【0189】

次いで、第5実施例におけるS034の軌道誘導補正サブルーチンの動作を、この処理のフローチャートである図32を用いて説明する。

【0190】

まず、S3900において、S3100と同様、目標ZMPが許容範囲を越えた分 e を求める。

【0191】

次いでS3902に進み、ある所定の係数 Ka に e を乗じた量だけ、次回歩容支持脚座標系の位置、次次回歩容支持脚座標系の位置を修正する。

【0192】

次いでS3904に進み、環境依存次回着地位置姿勢許容範囲と環境依存次回

回着地位置姿勢許容範囲および自己依存着地位置姿勢許容範囲のいずれかを満足しない場合には、最小の修正量で、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きのいずれかを修正する。

【0193】

すなわち、S3902で決定した値からなるべく離れないように、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きのいずれかを修正する。

(第6実施例)

図33は、第6実施例における軌道計画処理である。この処理は、ロボットに備えられた、歩容生成部よりも上位の図6に示す前記移動計画部において実行される。

【0194】

第6実施例においては、残余の形態は第1実施例と同じである。

【0195】

図33を用いて第6実施例における軌道計画処理を説明すると、まず、S4000において初期化を行う。具体的には、現在支持脚座標系を第0歩支持脚座標系に代入し、歩数カウンタ nn を0にする。また、目標歩容を初期化する。目標歩容の初期状態は、通常、直立状態にする。

【0196】

次いでS4002に進み、目的地と地図情報から目標経路を決定する。

【0197】

次いでS4004を経てS4006に進み、図12の軌道誘導サブルーチン（第1実施例にて用いた軌道誘導サブルーチン）を実行する。ただし、軌道誘導サブルーチンおよび後述する軌道誘導補正サブルーチンにおいては、推定支持脚座標系を第 nn 支持脚座標系に、次回歩容支持脚座標系を第 $nn+1$ 支持脚座標系に、次次回歩容支持脚座標系を第 $nn+2$ 支持脚座標系に対応させる。

【0198】

次いでS4008からS4016まで、S024からS032と同様に実行する。

【0199】

S4016において肯定される場合には、S4018に進み、図34に示す軌道誘導補正サブルーチンを実行し、次いでS4020を経てS4008に戻る。

【0200】

S4016において否定される場合にはS4022に進み、目的地に到達するまでの目標軌道が生成されたか否かを判定する。

【0201】

S4022において肯定される場合には、これをもって軌道計画処理を終了する。

【0202】

S4002において否定される場合には、歩数カウンタnnを1だけ増加させて、S4006に戻る。

【0203】

以上が、第6実施例における軌道計画処理である。この処理が移動前に実行され、この処理結果が、歩容生成部に渡される。

【0204】

歩行の前に、軌道計画処理によって、目標ZMPの許容範囲、自己依存着地位置姿勢許容範囲および環境依存着地位置姿勢許容範囲が満足されるので、歩容生成部では、S022の処理を省略しても良い。

【0205】

上記より、第6実施例においては、移動前に軌道誘導処理の一部が実行されていると解釈することもできる。

【0206】

記憶されている地図上の障害物等を回避しつつ目的位置まで移動する場合には、現在推定支持脚座標系の位置姿勢に応じて、現在推定支持脚座標系の位置姿勢から障害物等を回避して目的位置に移動する目標経路を作り直しても良い。

【0207】

前述のごとく足平代表点を足平中央から反対側の足平の方にずれた位置に設定する代わりに、足平代表点を足平の中の左右の中央に設定し、目標軌道から少し

離れた位置に左脚用目標軌道と右脚用目標軌道を設定し、左（右）足平代表点が左（右）脚用目標軌道上に漸近するように、着地位置姿勢を決定しても良い。図 3 5 に、第 2 実施例に対して、上記のごとき変更を加えた例（第 7 実施例）を示す。他の実施例に対しても、同様に変更しても良い。

【0208】

飛行体の軌道誘導や無人搬送車の軌道誘導のように、推定上体位置姿勢が目標上体位置姿勢に追従するように、着地位置姿勢を変更する方式も考えられる。ただし、直線移動する場合であっても、動力学的並行条件を満足するために、目標上体位置は、前後左右に揺れるので、目標上体位置の瞬間的な移動方向が長期的な移動方向とは一致しない。また、目標歩容を修正すると目標上体位置姿勢も変化するため、すなわち、現在の歩行状態にも依存するため、グローバル座標系上に絶対的に設定できる目標軌道にはならない。したがって、この方式では、それらの不都合を解消するために、前後左右に揺れる分をキャンセルして長期的な移動方向を導出するなどの極めて複雑な処理が必要となる。

【0209】

目標軌道（経路）としては、上記のごとく記憶している地図情報に基づいて設定した経路以外に、床等に設置されたマーカー、床に引かれた白線、通電線、アンテナ、壁から所定距離離れた点の集合から成る経路（壁沿い移動のため）であっても良い。

【0210】

推定自己位置の表記としては、グローバル座標系の位置でなくても、床に引かれた白線や壁からの距離などのように、環境との相対位置関係であっても良い。

【0211】

歩容の切り変わり目以外でも軌道誘導処理を実行して、着地位置姿勢などの歩容パラメータを修正するようにしても良い。ただし、今回歩容の着地位置は、着地直前になるとほとんど変更できなくなるので、この場合には、主に次回着地位置を変更するようにする。今回目標歩容の着地位置姿勢変更が間に合わない場合には、今回目標歩容の着地位置姿勢は修正せず、次回目標歩容の着地位置姿勢のみ修正する。

【0 2 1 2】

なお、今回目標歩容の着地位置姿勢が間に合わない場合とは、プログラム上、目標ZMP軌道あるいは遊脚足平軌道が変更できない場合、あるいは、目標着地位置を変更すると、足平の加速度パターン、関節速度、力（トルク）あるいは目標ZMP軌道が限界を越えるなど、ロボットの物理的限界を越えて修正される場合のことを指す。

【0 2 1 3】

前記軌道誘導サブルーチンで求めた次回および次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを軌道誘導補正サブルーチンで変更する場合、上記の軌道誘導補正サブルーチンを用いる代わりに、前記軌道誘導サブルーチンを用いて、前記所定の長さ $Lr0$ 、 $Lr1$ 、 $Lq0$ および $Lq1$ の少なくともいずれかを設定し直して（通常、短くして）、次回および次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを再決定させても良い。

【0 2 1 4】

【発明の効果】

基本的には、上体の揺れの影響をほとんど受けない着地位置姿勢（向き）を基に目標歩容を決定するので、目標経路に対する追従精度と追従応答性が高い軌道誘導をすることができる。

【0 2 1 5】

また、

- 1) 目標経路に対する追従精度と追従応答性が高い軌道誘導をすることができる。
- 2) 脚間干渉などロボット自身の構造に起因する運動の制約条件を満足した軌道誘導をすることができる。
- 3) 安定余裕を高く維持した軌道誘導をすることができる。
- 4) 脚間干渉などロボット自身の構造に起因する運動の制約条件を満足した移動計画を立てることができる。
- 5) 安定余裕を高く維持した移動計画を立てることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 実施形態の説明図。

【図 2】

第 1 実施形態の説明図。

【図 3】

第 1 実施形態の説明図。

【図 4】

第 1 実施形態の説明図。

【図 5】

第 1 実施形態の説明図。

【図 6】

第 1 実施形態の説明図。

【図 7】

第 1 実施形態の説明図。

【図 8】

第 1 実施形態の説明図。

【図 9】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 0】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 1】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 2】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 3】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 4】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 5】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 6】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 7】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 8】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 9】

第 2 実施形態の説明図。

【図 2 0】

第 2 実施形態の説明図。

【図 2 1】

第 2 実施形態の説明図。

【図 2 2】

第 2 実施形態の説明図。

【図 2 3】

第 3 実施形態の説明図。

【図 2 4】

第 3 実施形態の説明図。

【図 2 5】

第 3 実施形態の説明図。

【図 2 6】

第 4 実施形態の説明図。

【図 2 7】

第 4 実施形態の説明図。

【図 2 8】

第 4 実施形態の説明図。

【図 2 9】

第 4 実施形態の説明図。

【図 3 0】

第 5 実施形態の説明図。

【図 3 1】

第 5 実施形態の説明図。

【図 3 2】

第 5 実施形態の説明図。

【図 3 3】

第 6 実施形態の説明図。

【図 3 4】

第 6 実施形態の説明図。

【図 3 5】

第 7 実施形態の説明図。

【符号の説明】

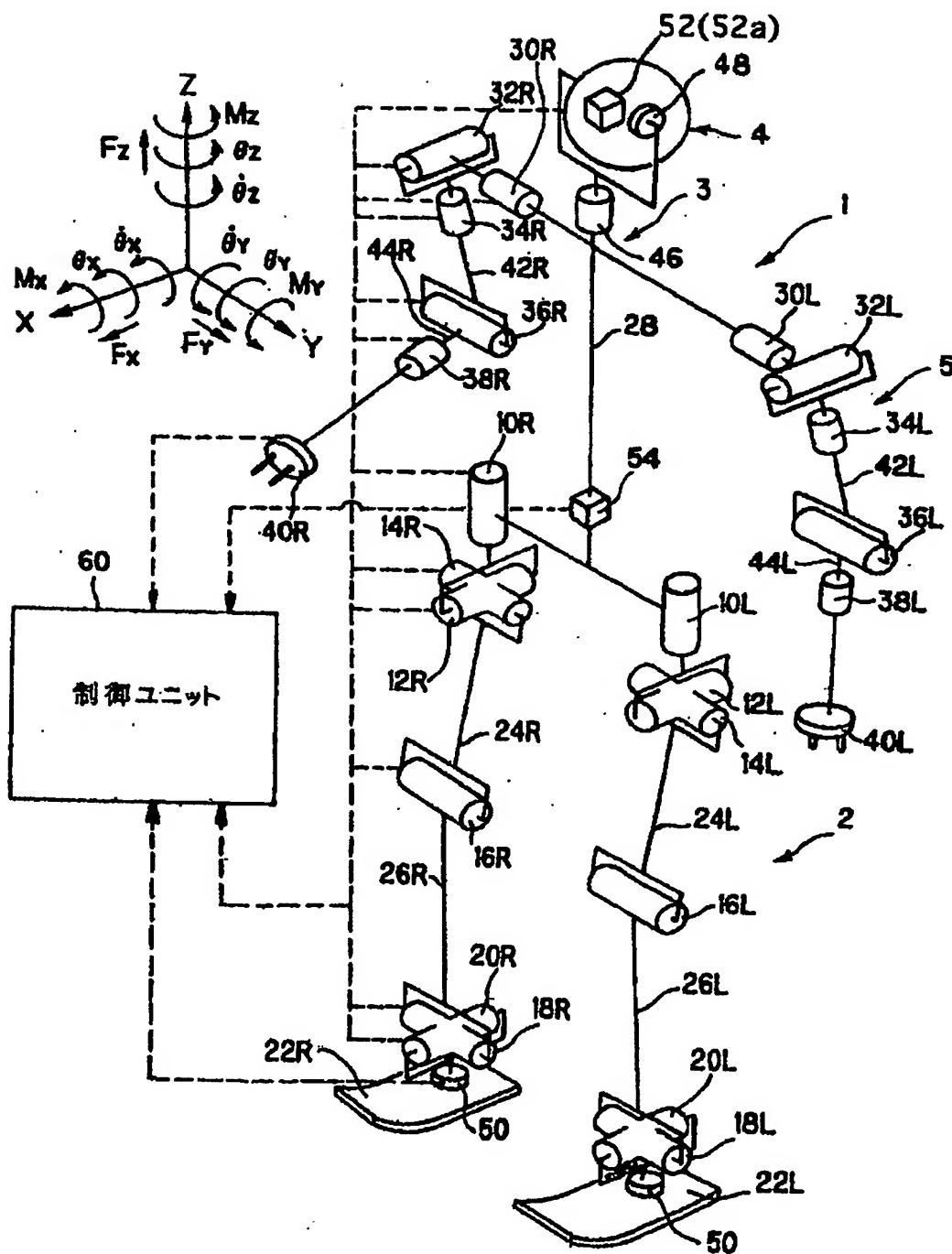
1 … ロボット、 6 0 … 制御ユニット。

【書類名】

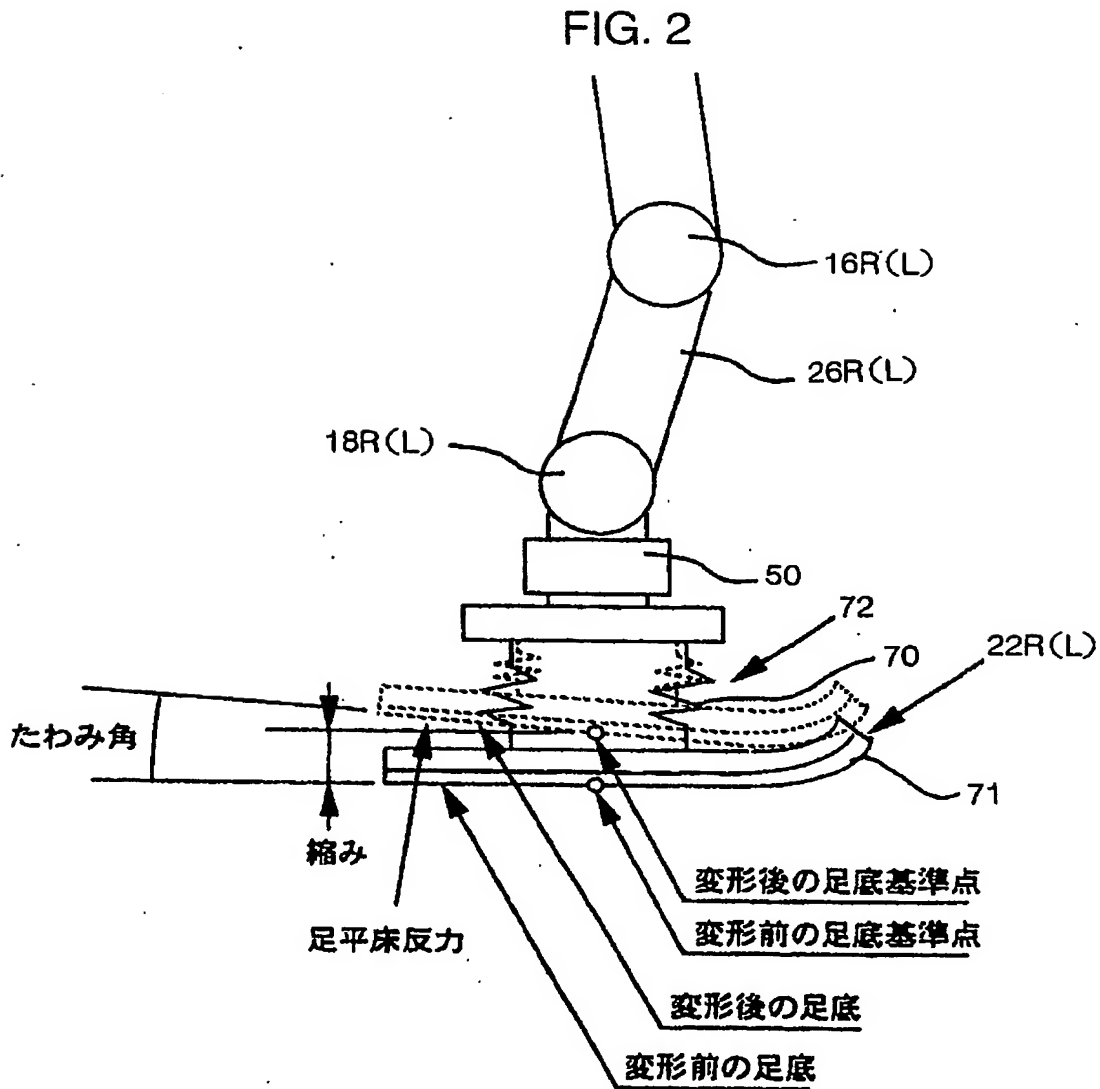
図面

【図 1】

FIG. 1

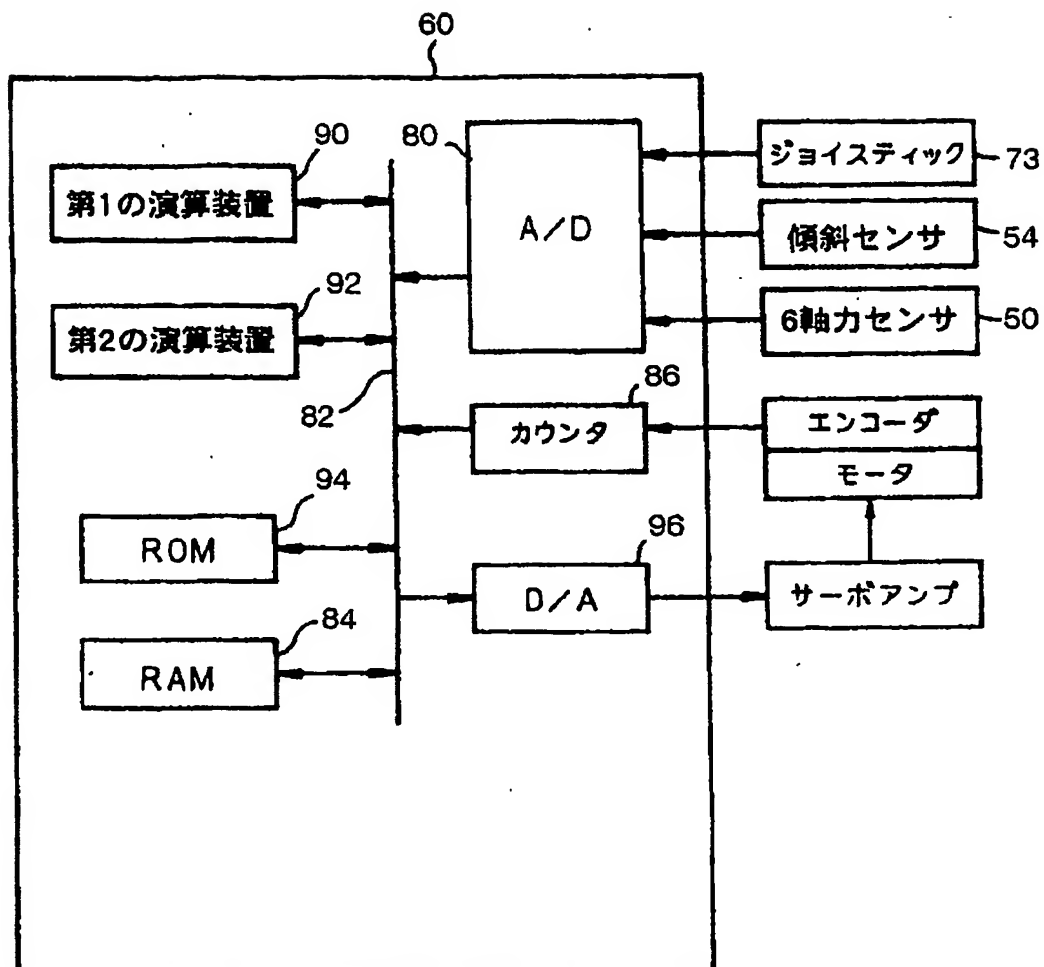


【圖 2】



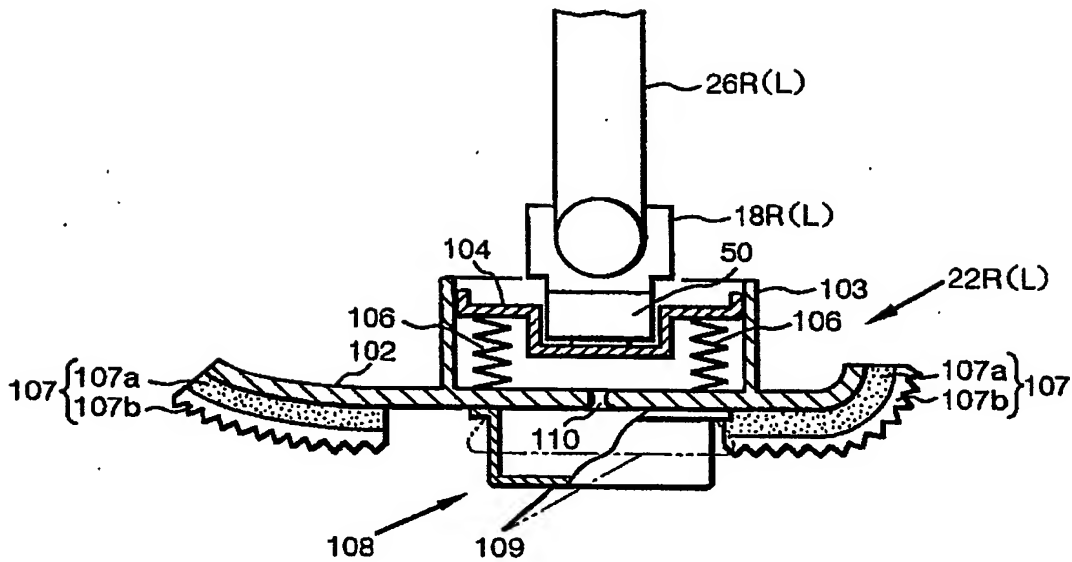
【図3】

FIG. 3



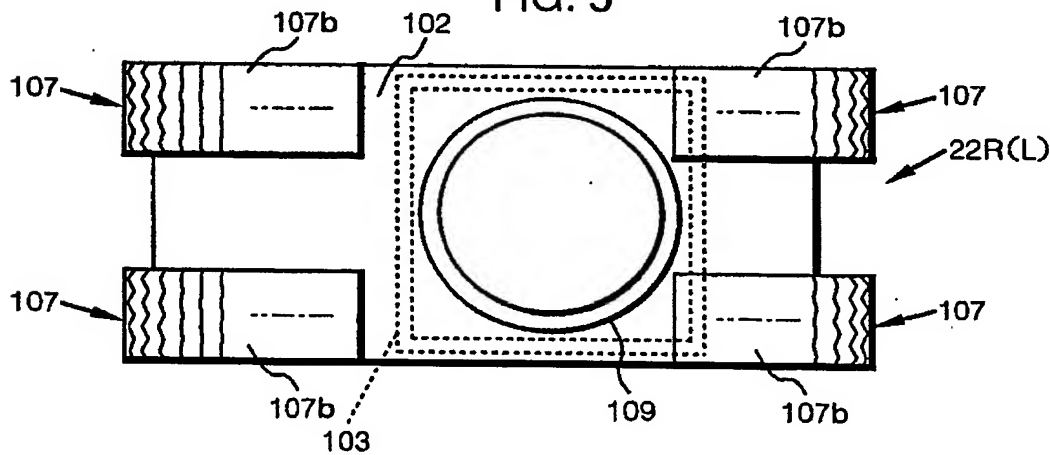
【図 4】

FIG. 4

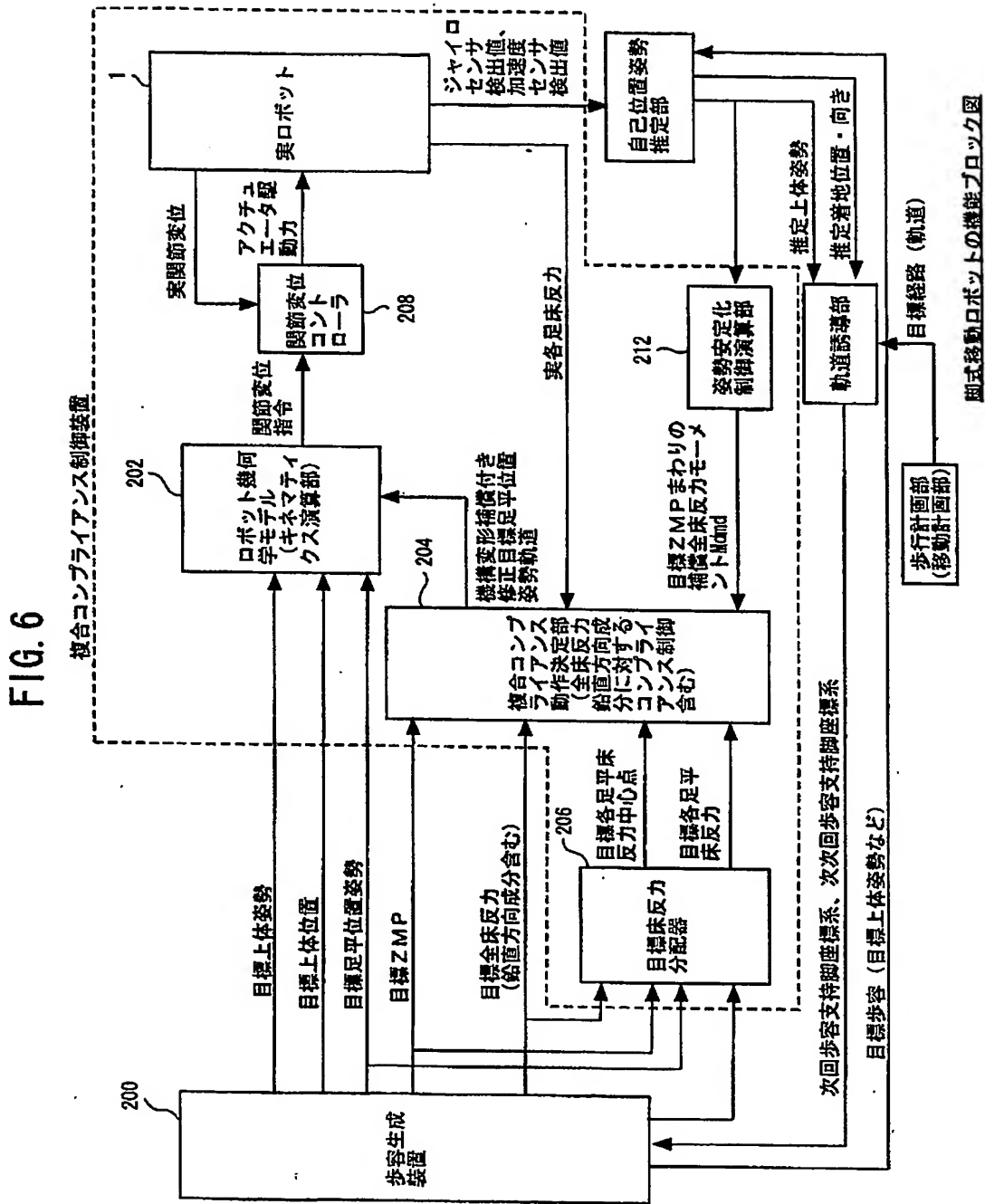


【図 5】

FIG. 5



【图 6】



【図 7】

FIG. 7

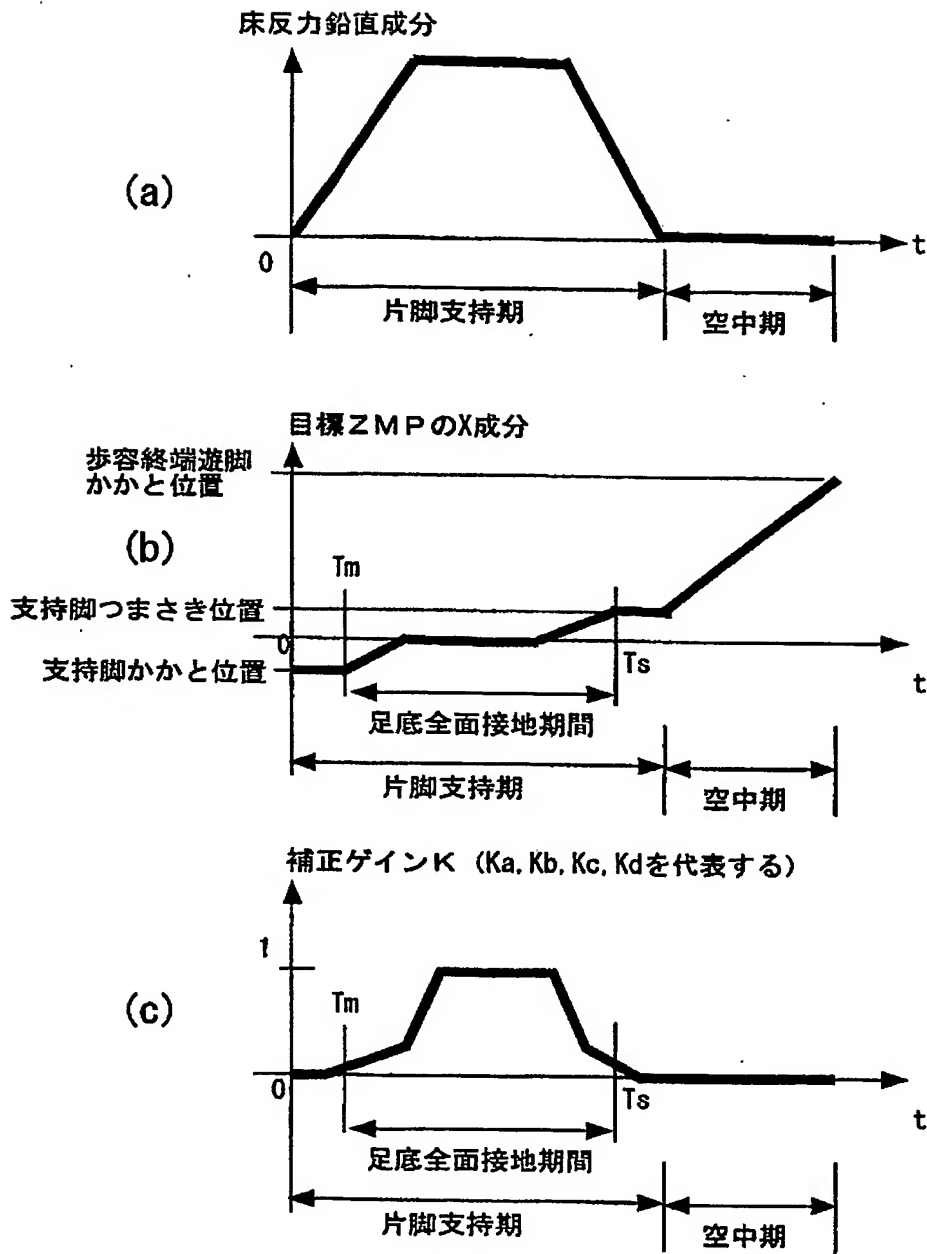


図 7. 床反力鉛直成分および目標ZMPと修正ゲインの関係

【図 8】

FIG. 8

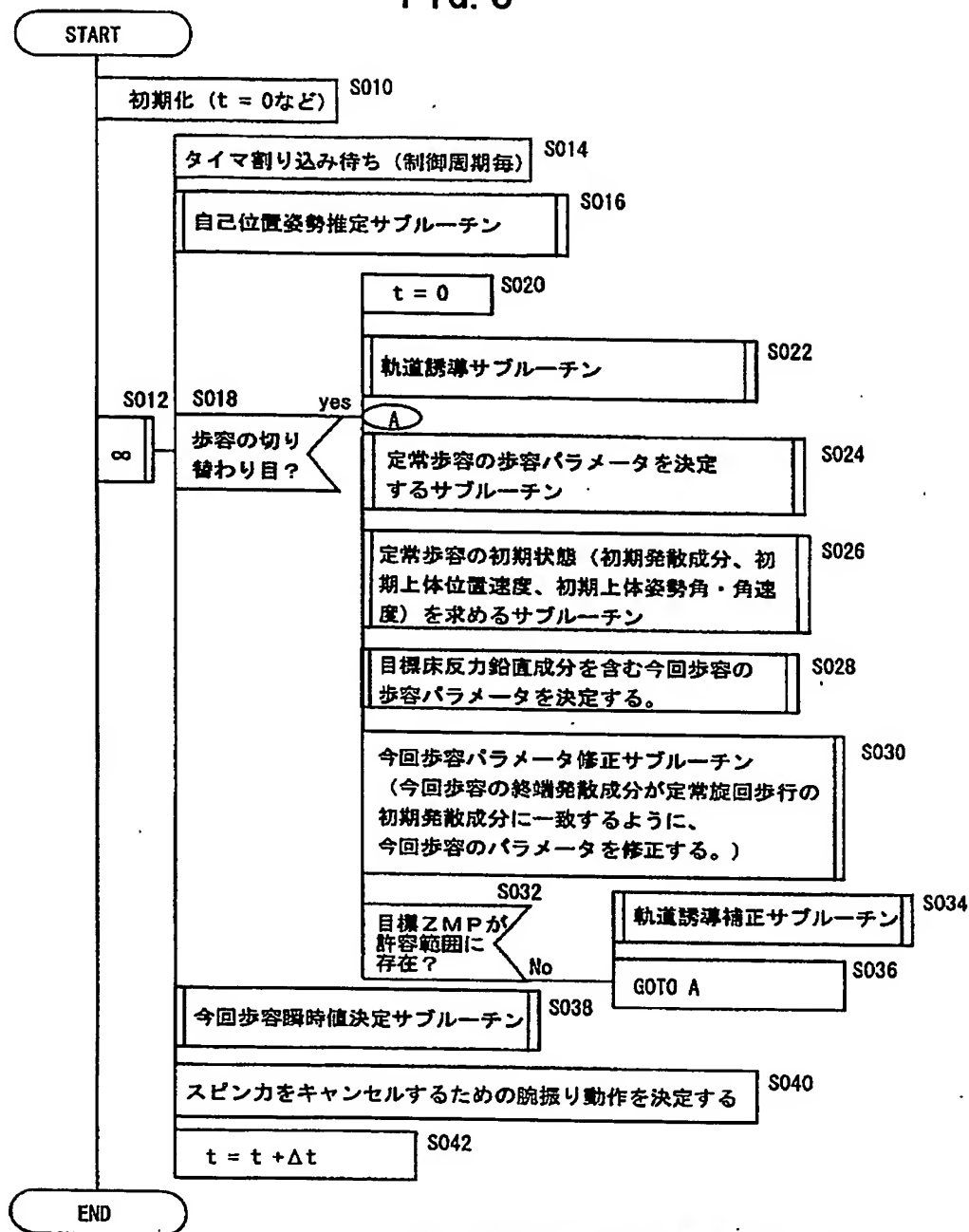


図8. 歩容生成部と自己位置姿勢推定部の
処理のフローチャート

【図 9】

FIG. 9

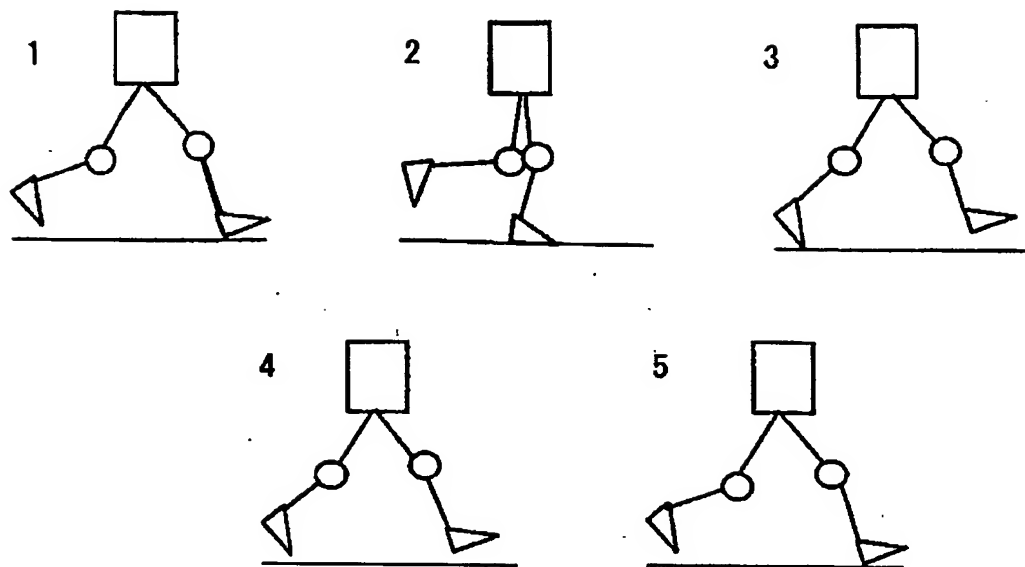


図 9 走行

【図 1 0】

FIG. 10

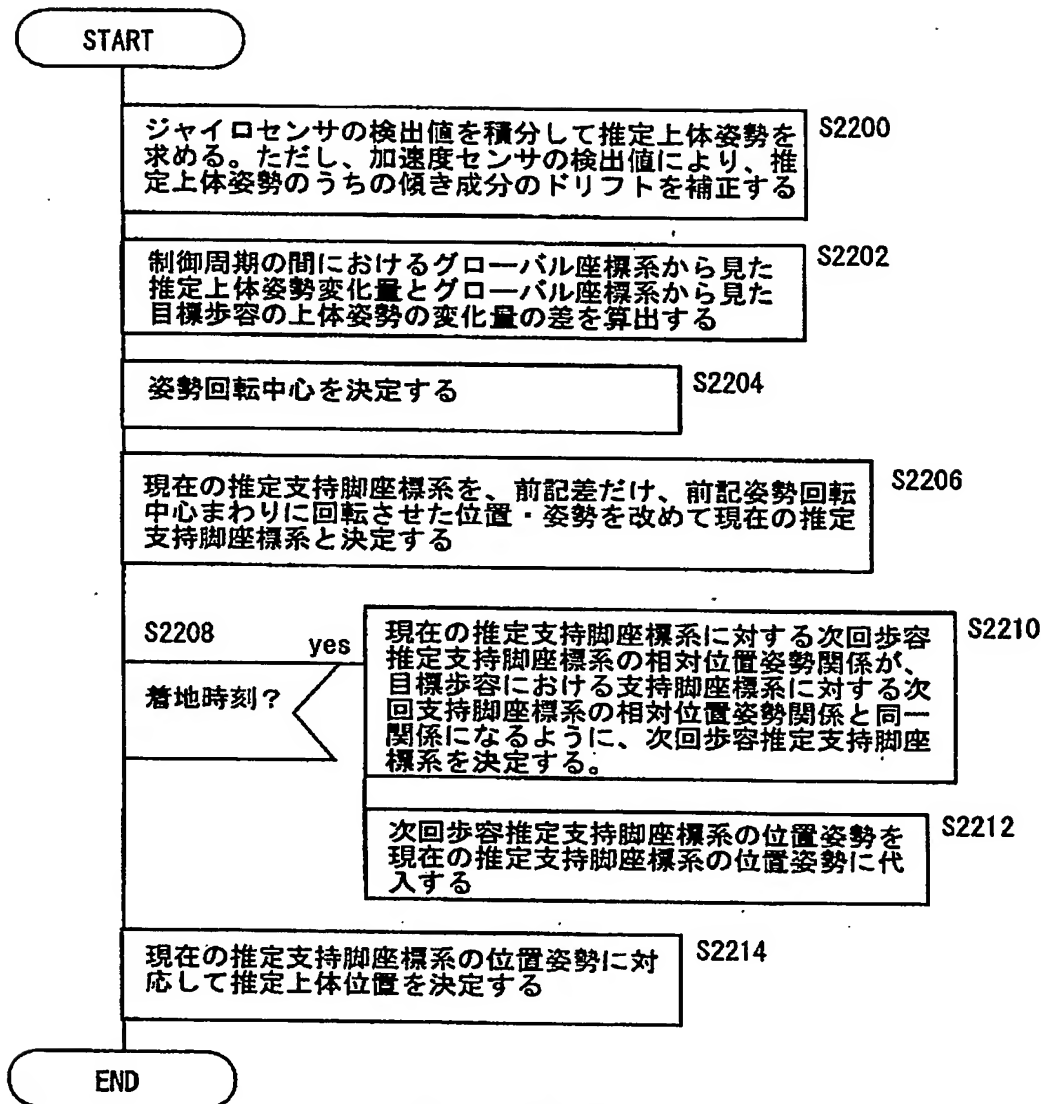


図 1 0. 第 3 実施例の自己支持脚位置姿勢推定
サブルーチンフローチャート（連続推定）

【図 11】

FIG. 11

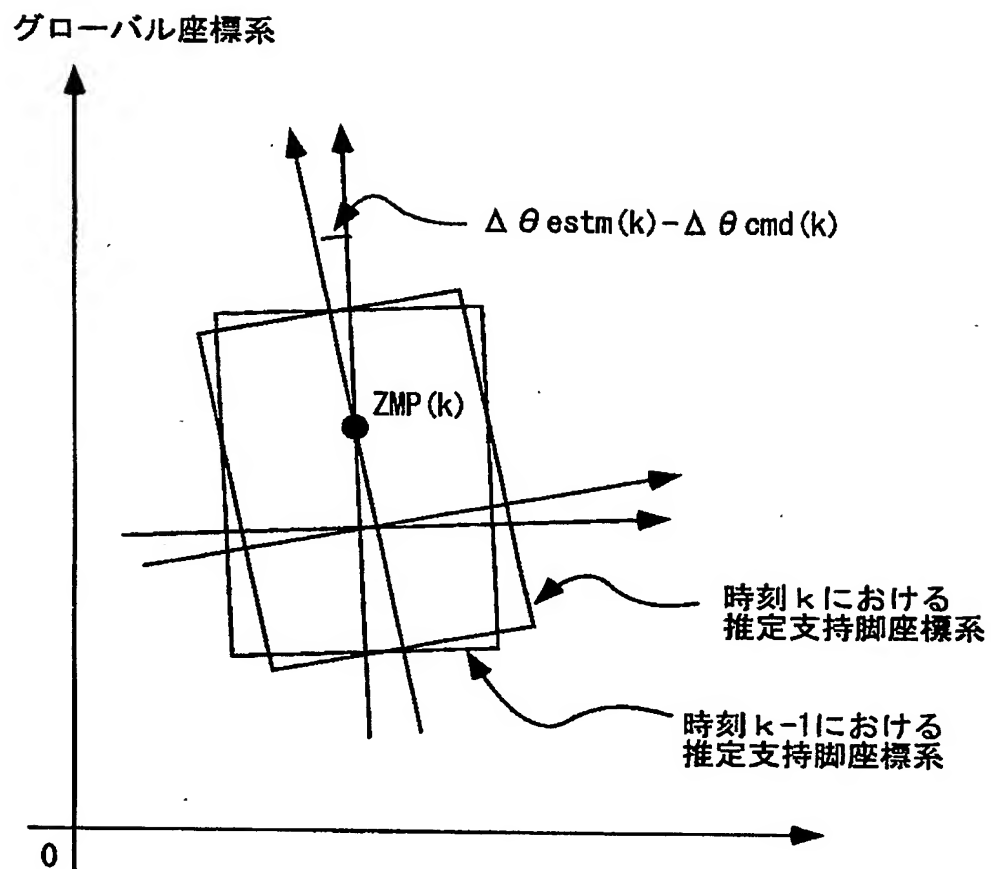


図 11. 自己位置推定 (各瞬間に目標 ZMP まわりに滑り回転)

【図 1 2】

FIG. 12

経路誘導

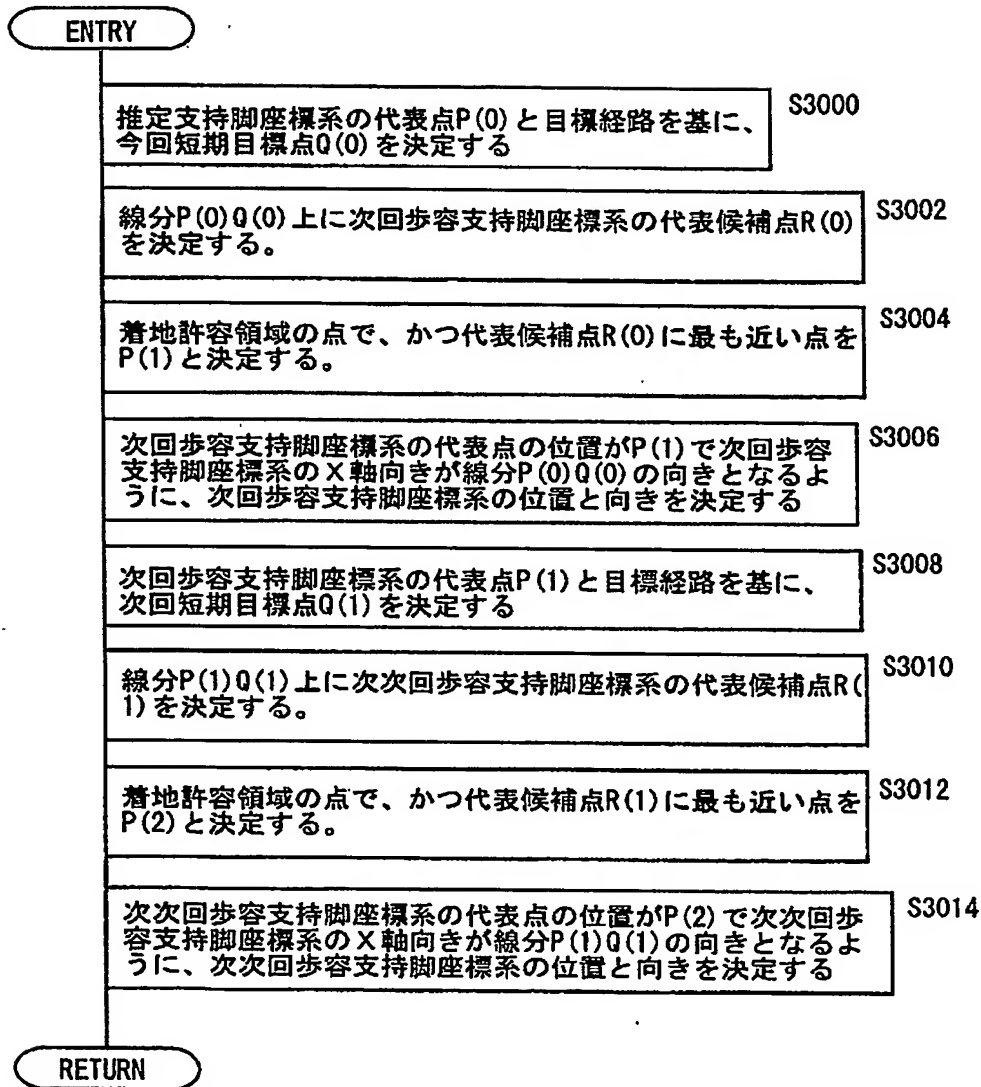


図 1 2. 経路誘導制御のフローチャート

【図 1 3】

FIG. 13

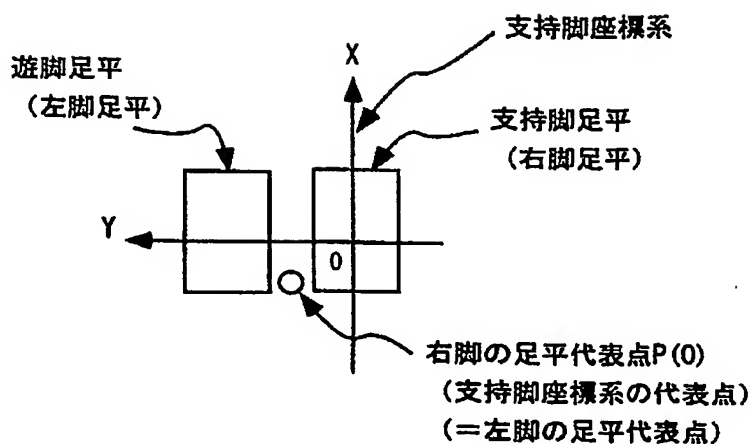


図 1 3. 通常直立時の足平代表点 (右脚が支持脚の場合)

【図 1 4】

FIG. 14

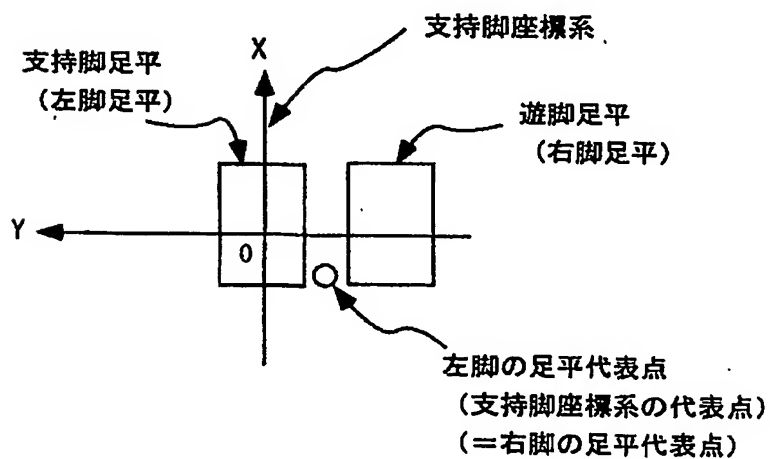


図 1 4. 通常直立時の足平代表点 (左脚が支持脚の場合)

【図 15】

FIG. 15

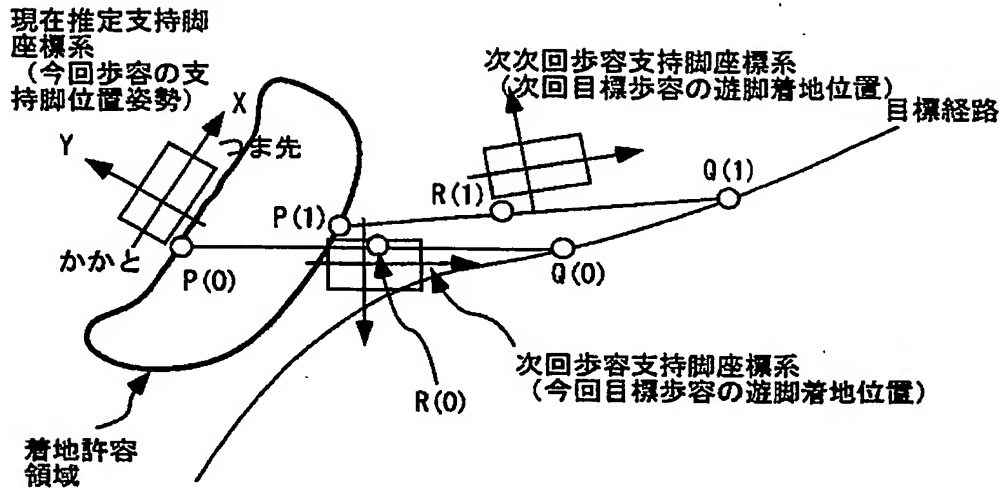


図 15. 着地位置・向き決定法

【図 16】

FIG. 16

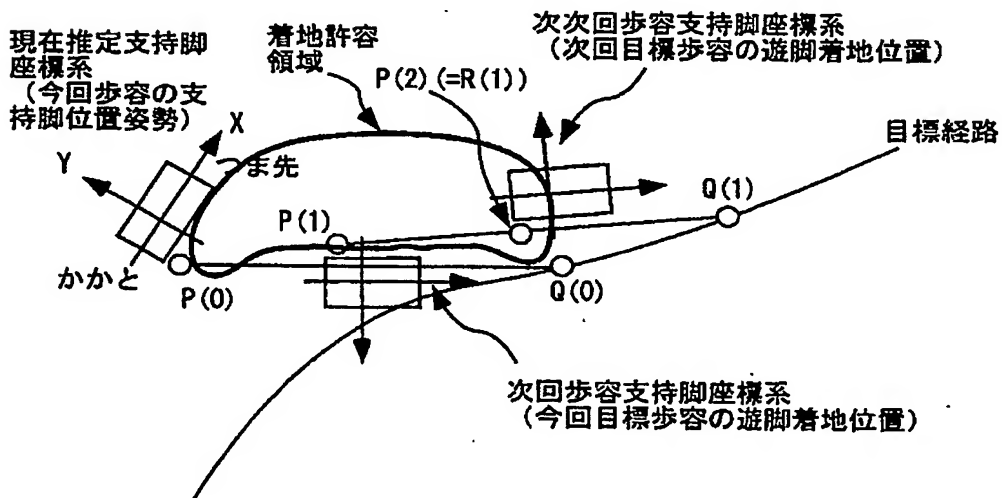
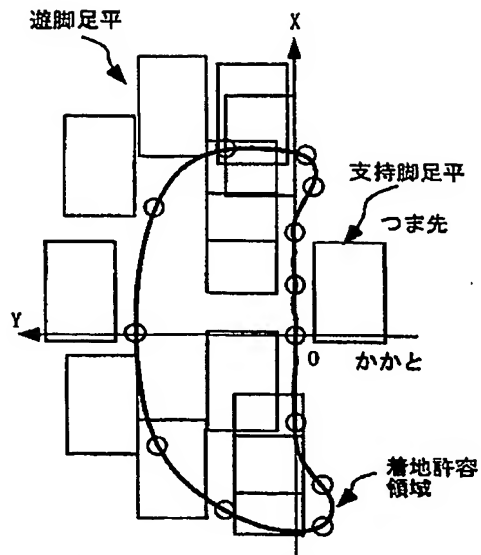


図 16. 着地位置・向き決定法 (つづき)

【図 17】

FIG. 17

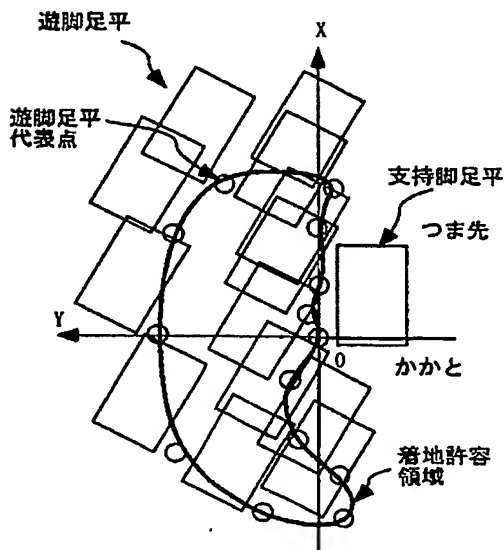


遊脚を振り出す途中で支持脚と干渉する場合があるので、現在の遊脚位置姿勢のよってさらに、着地位置向きの可能範囲はより狭く限定される。

図 17. 着地許容領域 (着地向き= 0° の場合)

【図 18】

FIG. 18



遊脚を振り出す途中で支持脚と干渉する場合があるので、現在の遊脚位置姿勢のよってさらに、着地位置向きの可能範囲はより狭く限定される。

図 18. 着地許容領域 (着地向き= -3.0° の場合)

【図 19】

FIG. 19

経路誘導

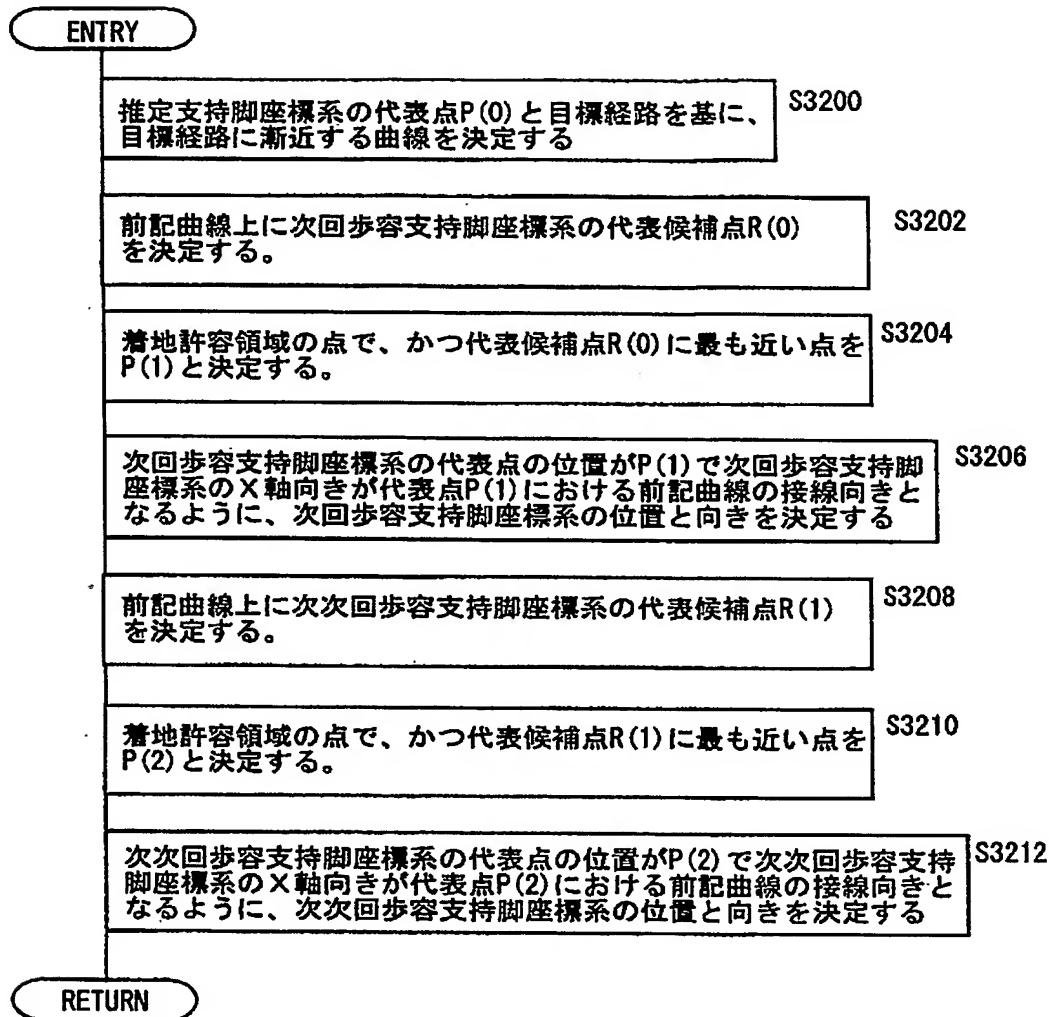


図 19. 経路誘導制御のフローチャート (第 2 実施例)

【図 2 0】

FIG. 20

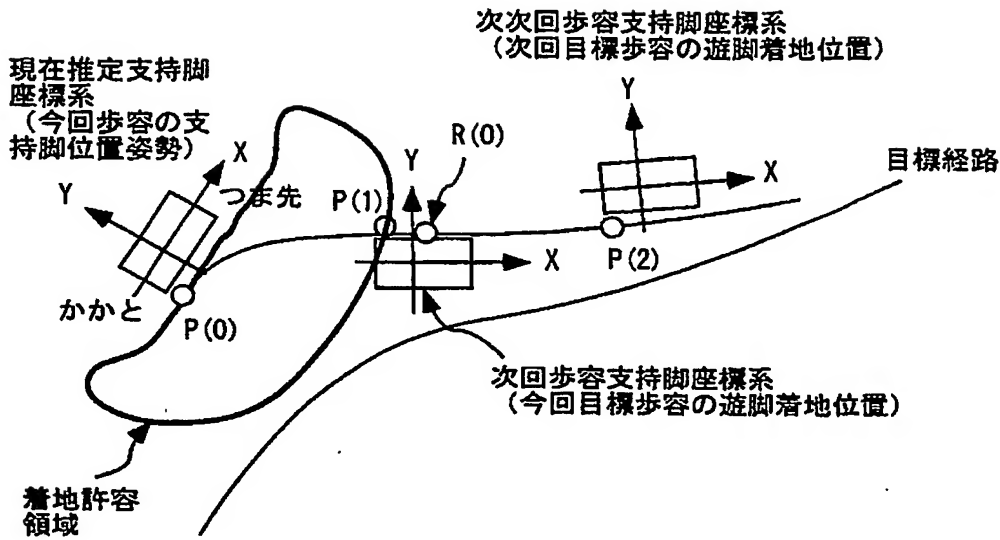


図 2 0. 着地位置・向き決定法 (第 2 実施例)

【図 2 1】

FIG. 21

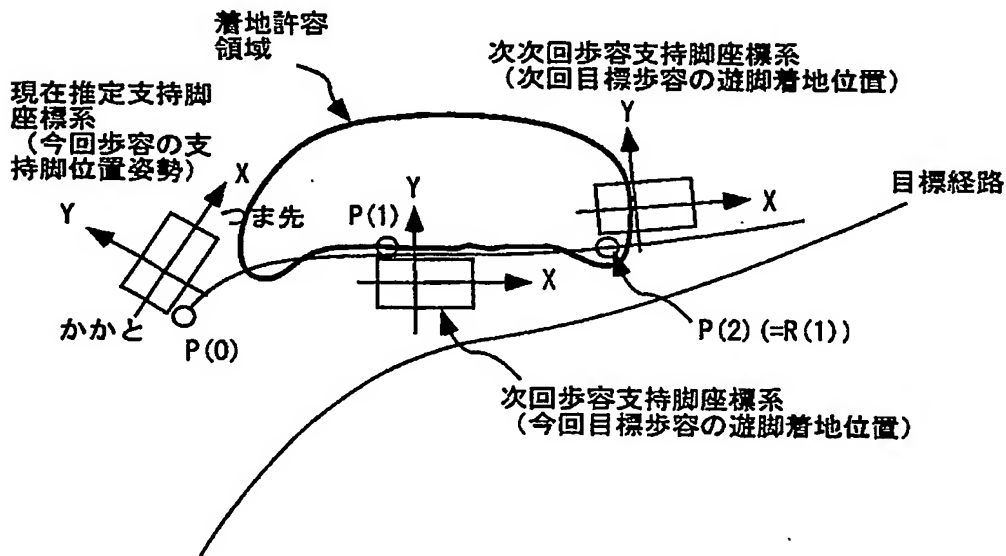


図 2 1. 着地位置・向き決定法 (第 2 実施例)

【図 2 2】

FIG. 22

経路誘導補正

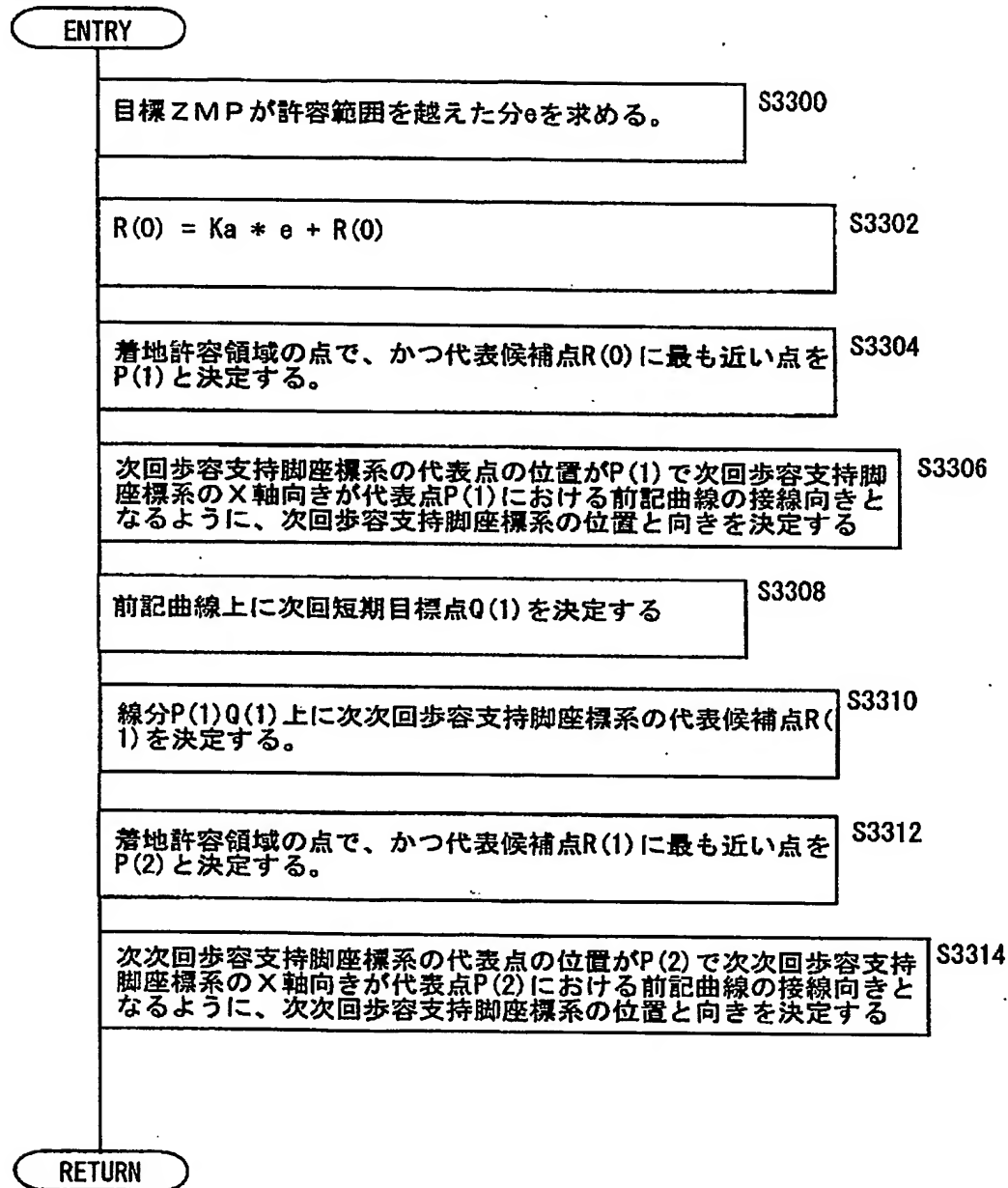


図 2 2. 経路誘導制御のフローチャート (第 2 実施例)

【図 2 3】

FIG. 23

経路誘導

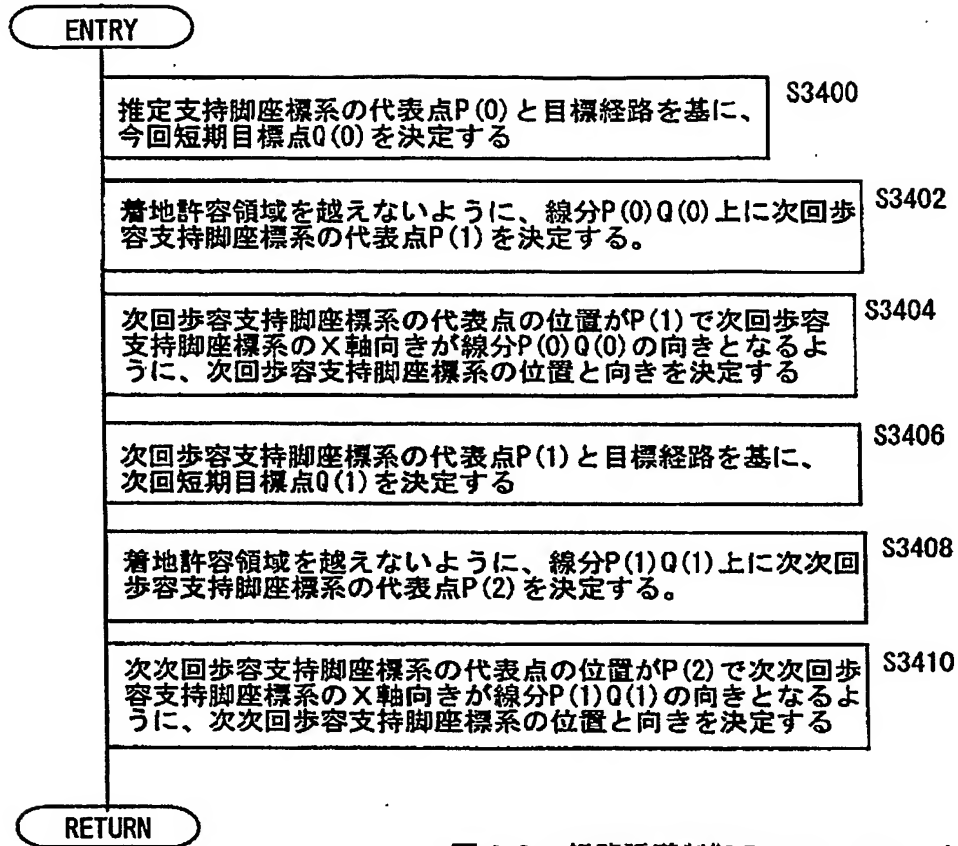


図 2 3. 経路誘導制御のフローチャート

【図 24】

FIG. 24

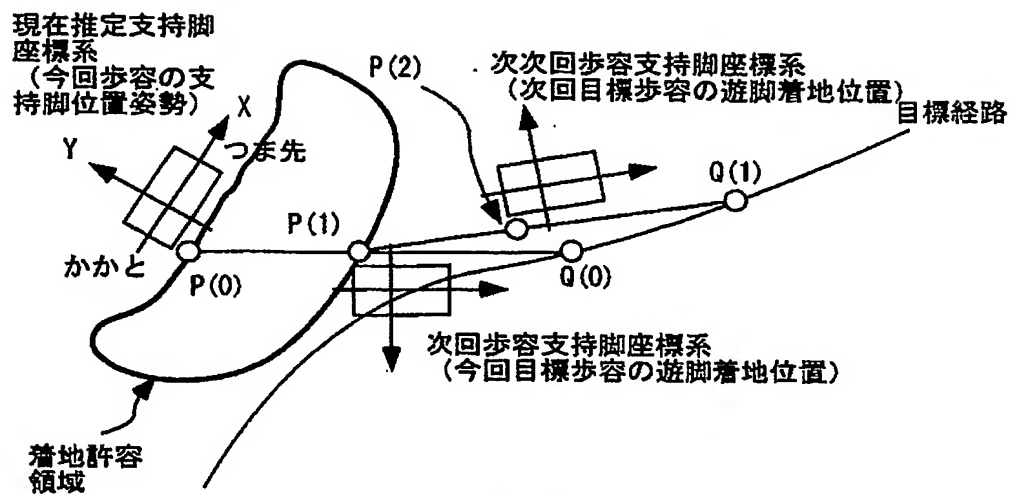


図 24. 着地位置・向き決定法

【図 2 5】

FIG. 25

経路誘導補正

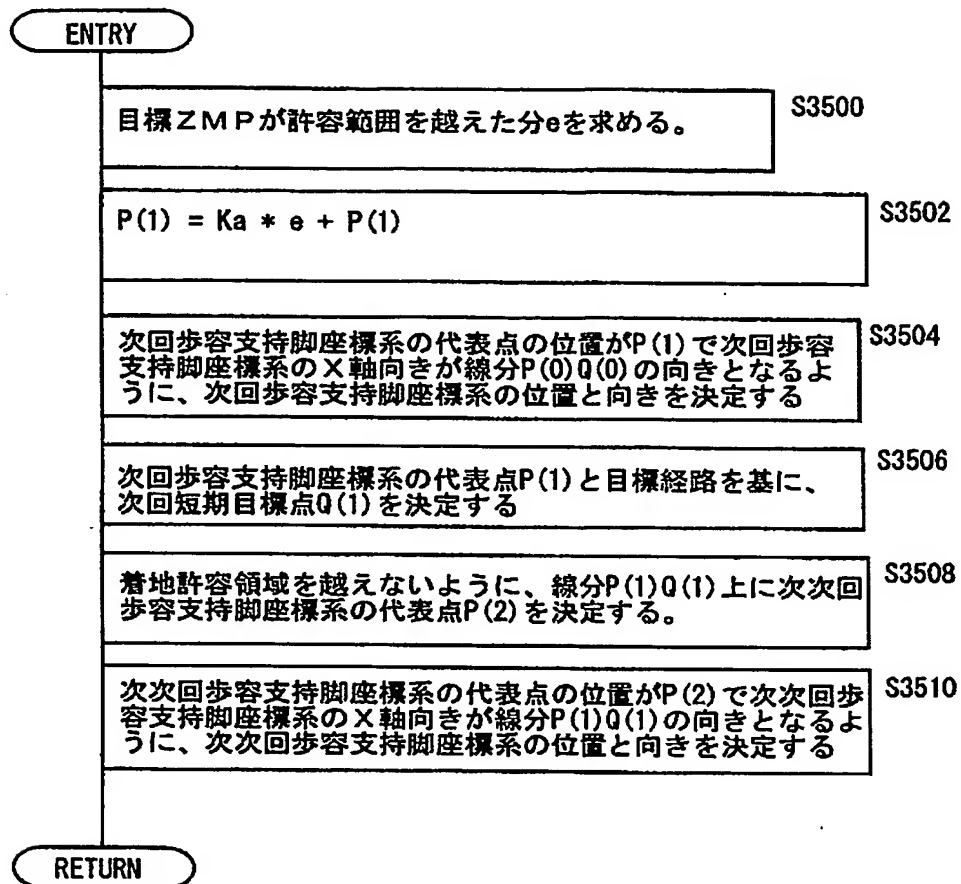


図 2 5. 経路誘導の補正のフローチャート

【図 2 6】

FIG. 26

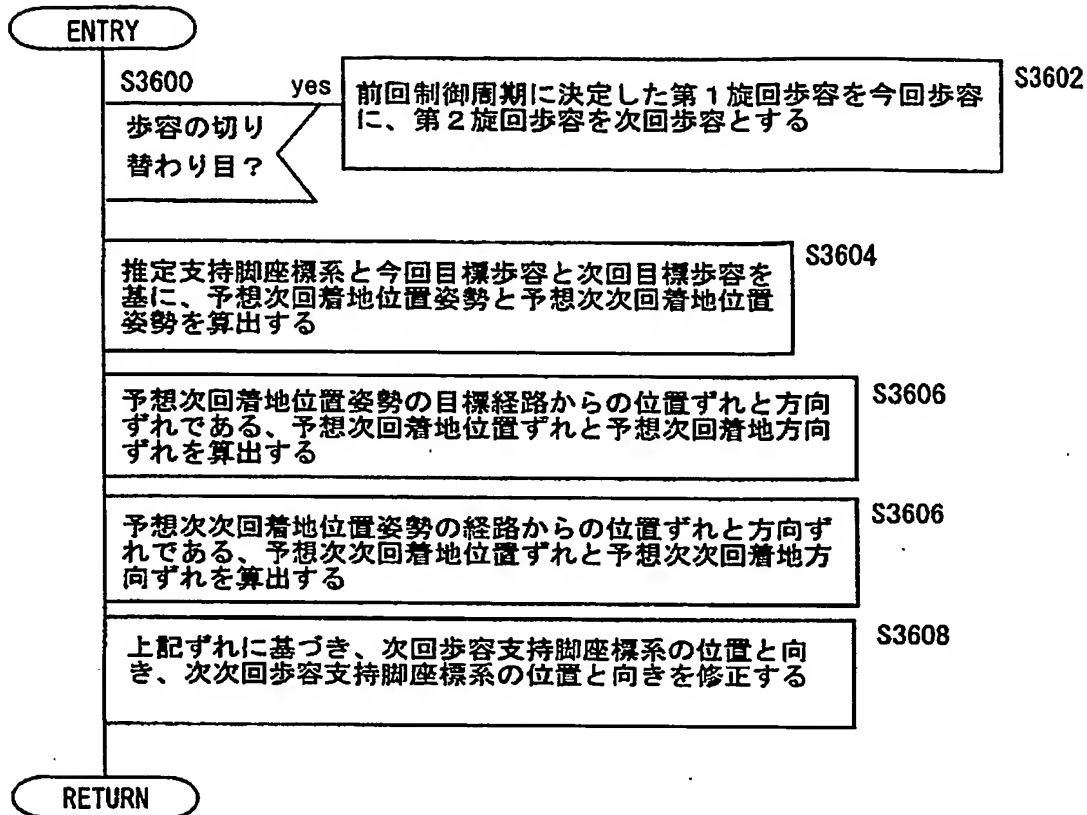


図 2 6 . 経路誘導制御のフローチャート

【図 27】

FIG. 27

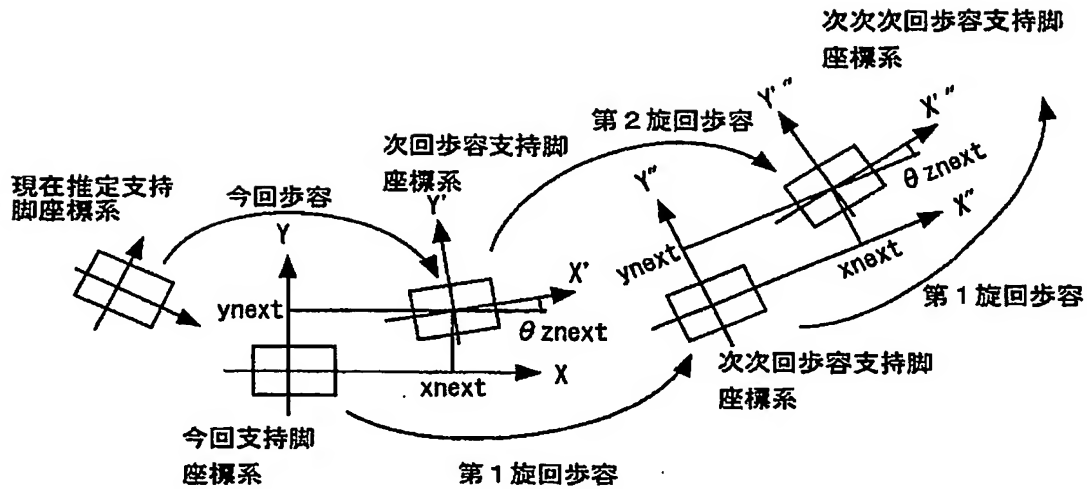


図 27. 定常歩容の着地位置姿勢の関係

【図 28】

FIG. 28

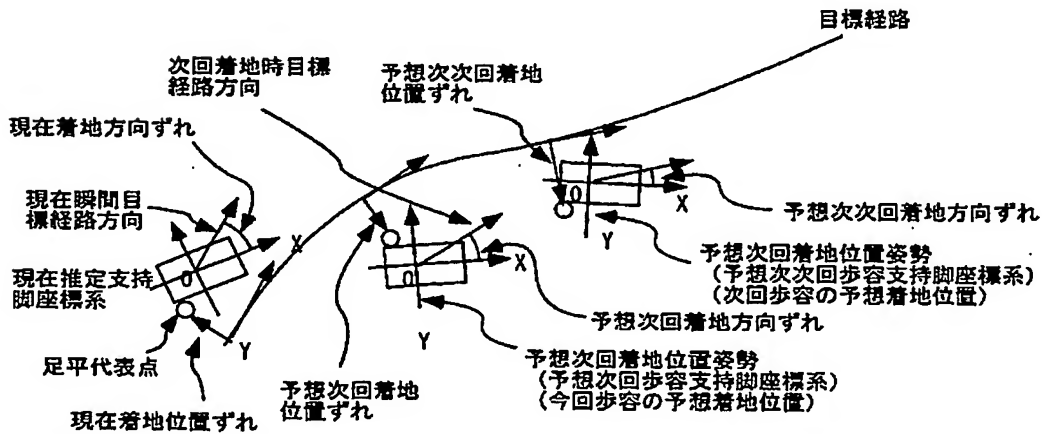


図 28. 着地位置・向き決定法 (第2実施例)

【図 29】

FIG. 29

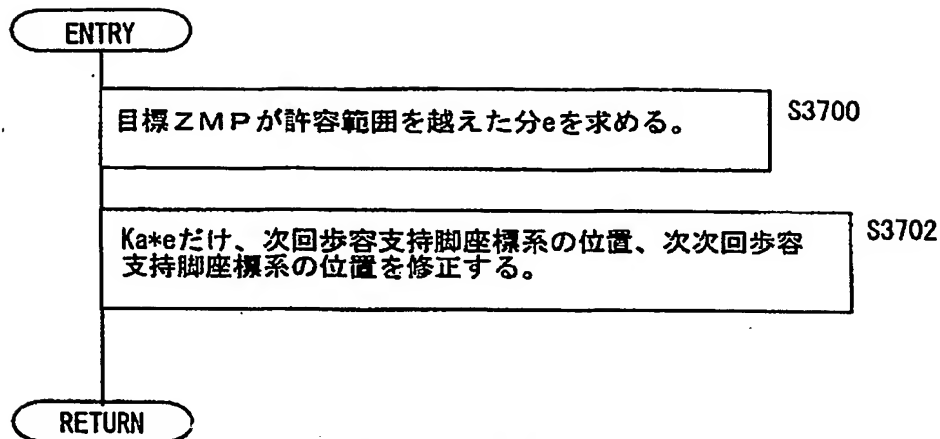


図 29. 経路誘導補正のフローチャート

【図 30】

FIG. 30

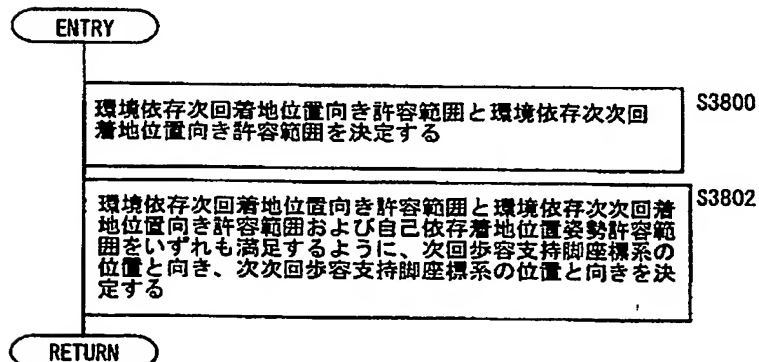


図 30. 経路誘導制御のフローチャート
(飛び石歩行のように着地位置が指定されている場合)

【図 3 1】

FIG. 31

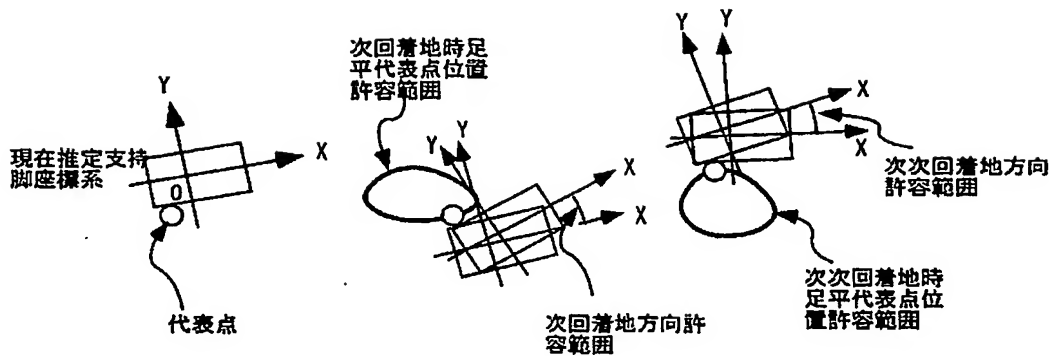


図 3 1. 着地位置・向き決定法

【図 3 2】

FIG. 32

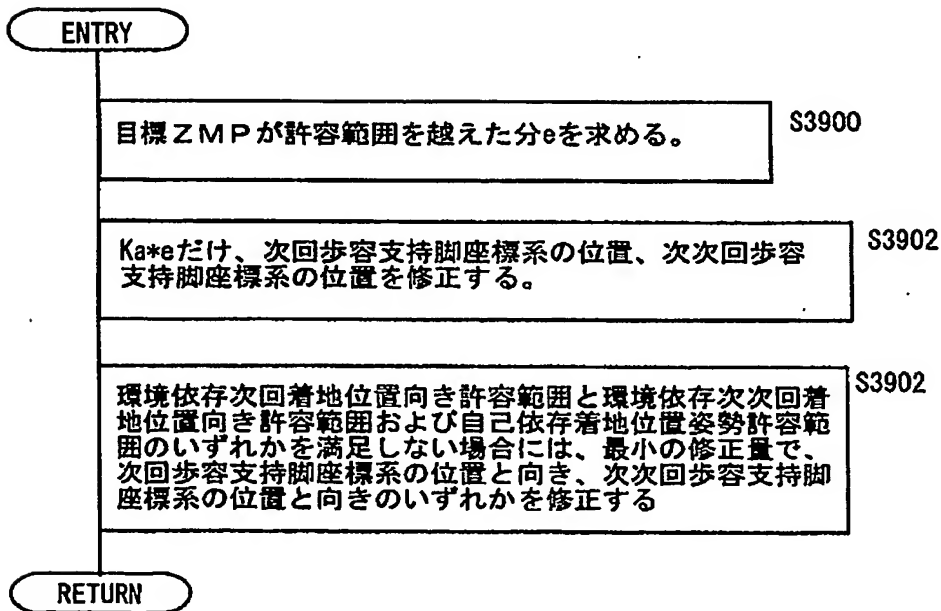


図 3 2. 経路誘導補正のフローチャート
(飛び石歩行のように着地位置が指定されている場合)

【図 3 3】

FIG. 33

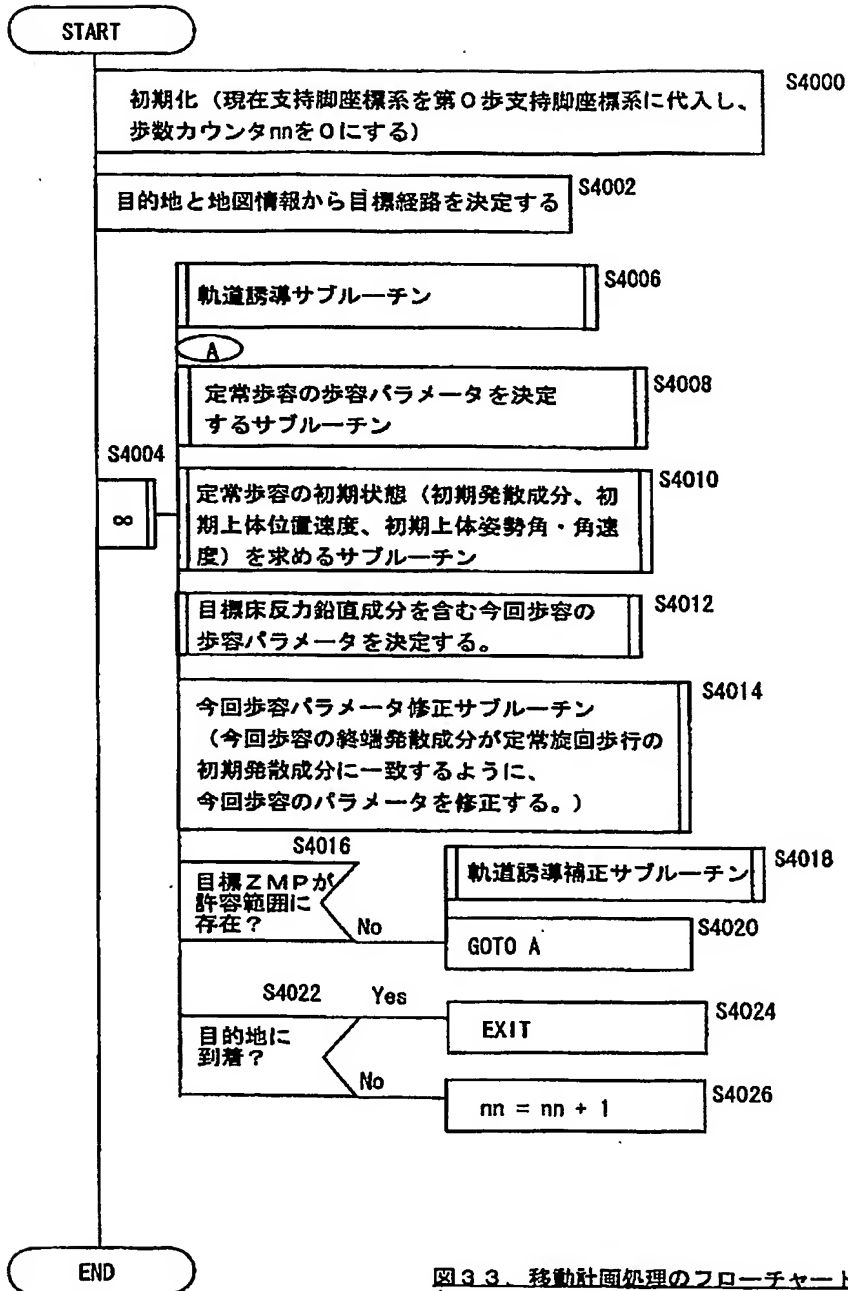


図 3 3. 移動計画処理のフローチャート

【図 3 4】

FIG. 34

経路誘導補正

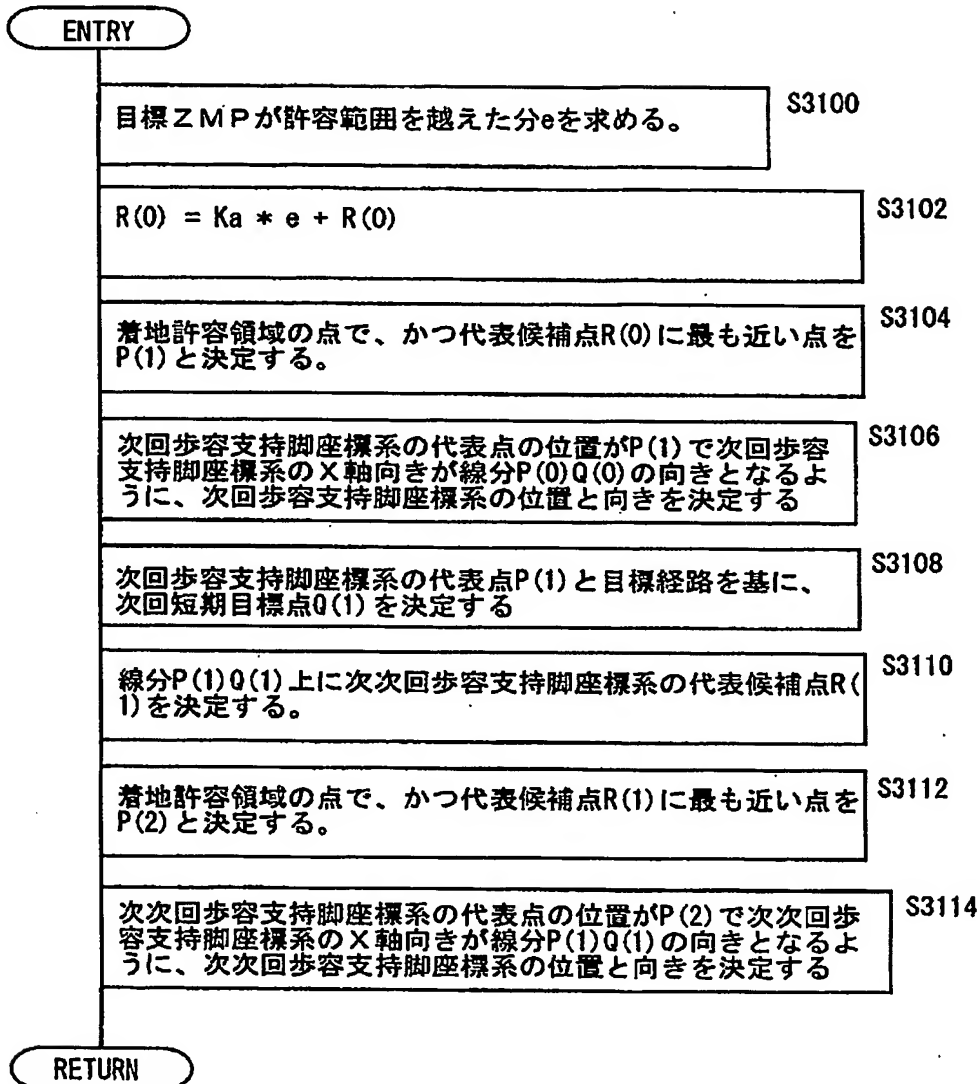


図 3 4. 経路誘導の補正のフローチャート

【図 35】

FIG. 35

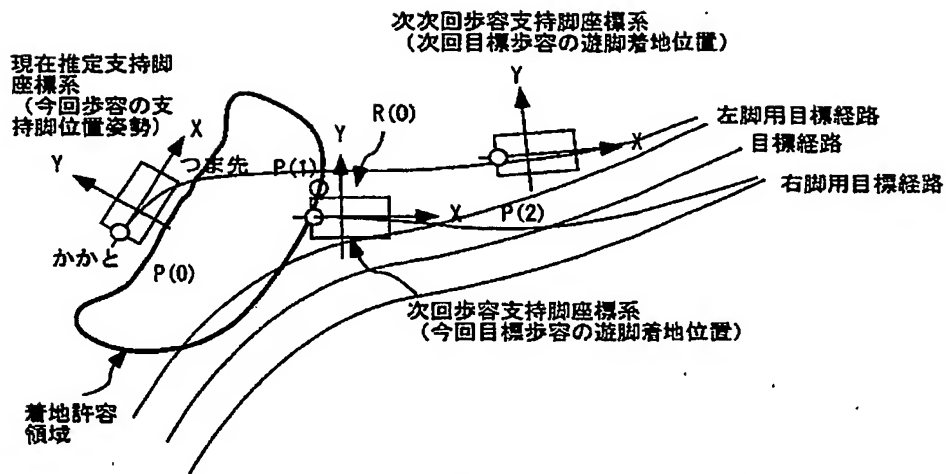


図 35 着地位置・向き決定法 (第 2 実施例のバリエーション)

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 目標軌道（経路）が与えられた時に、ロボットが前記目標軌道（経路）に追従するための、脚式移動ロボットに適した軌道誘導制御を提供する。

【解決手段】 脚式移動ロボット 1 において、a) 目標経路を設定する目標経路設定手段、b) 前記ロボットの初期接地位置および初期接地向きの少なくともいずれかと前記目標経路を基に、次回の目標着地位置、次回の目標着地向き、次々回の目標着地位置および次々回の目標着地向きの少なくともいずれかを決定する目標着地位置姿勢決定手段、を備える。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日	1990年 9月 6日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区南青山二丁目1番1号
氏 名	本田技研工業株式会社